

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Forstverein
<b>Band:</b>	137 (1986)
<b>Heft:</b>	12
<b>Artikel:</b>	Die Einheit und Vielfalt des Naturstoffes Holz : Ursachen und Auswirkungen
<b>Autor:</b>	Kuera, Ladislav J.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-765193">https://doi.org/10.5169/seals-765193</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# **Die Einheit und Vielfalt des Naturstoffes Holz – Ursachen und Auswirkungen<sup>1</sup>**

Von *Ladislav J. Kučera*

Oxf.: 81

(Aus dem Institut für Wald- und Holzforschung der ETH Zürich, CH-8092 Zürich)

## **1. Geschichte und Bedeutung des Holzes**

Das Holz ist, neben Stein und Knochen, der älteste und vielseitigste Weggefährte des Menschen. Stein-, Bronze- und Eisenzeit hat es in der Vorgeschichte gegeben, nicht aber eine Holzzeit — ein Alithikum —; dies ein Hinweis auf die Untrennbarkeit der Geschichte des Menschen von jener der Holzverwendung. Bereits vor 400 000 Jahren vermochte der *Sinanthropus pekinensis* ein wärmendes Holzfeuer zu unterhalten. Die Verwendung des Holzes als Waffe und zur Herstellung von Geräten ist mit Funden aus den Ahrensburger Kulturen seit etwa 9000 v. Chr. belegt. Aus Holz lassen sich alle drei Grundtypen von Musikinstrumenten — Saiten-, Blas- und Schlaginstrumente — herstellen. Die ersten hölzernen Musikinstrumente tauchen vor und während der Jungsteinzeit etwa 6000 bis 4000 v. Chr. im vorderen und mittleren Orient auf. Auch das weltverbindende Fahrzeug der Antike — das Schiff — wurde dereinst aus Holz gebaut, und zwar bereits 3000 bis 2000 v. Chr. Seine Blüte erlebte es im Dienste der Phönizier und Griechen 1500 bis 500 v. Chr. Im gleichen Zeitraum entstanden in den Alpenländern die Pfahlbau-Siedlungen. Erheblich ist die geschichtliche Bedeutung des Holzes für die Kunst und Kultur. Musikinstrumente, Skulpturen, bemalte Tafeln und Holzschnitte für den Buchdruck sind Zeugen vergangener Hochkulturen. Ein eigener Stellenwert kommt dem 100 n. Chr. in China entdeckten Papier zu: es wurde zum Träger und Vermittler von Kunst und Information. Das Industrie-Zeitalter hat zur Holzverwendung als Massenprodukt und Rohstoff beigetragen durch die Entwicklung grossflächiger plattenförmiger Werkstoffe und durch den Einsatz des Holzes als Chemierohstoff (*Abbildung 1*).

<sup>1</sup> Antrittsvorlesung, gehalten am 27. Januar 1986 an der ETH Zürich.

## Geschichte der Holzverwendung

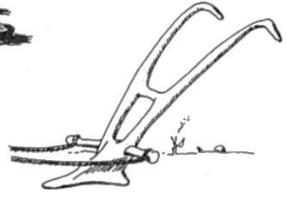
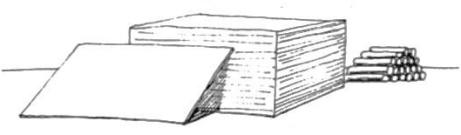
Epoche Geschichte (n.Chr.)	Vorgeschichte (v.Chr.)	Eisenzeit	Bronzezeit	Jungsteinzeit	Mittelsteinzeit	Altsteinzeit	Zeitangabe
						Feuer	400'000
							9'000
							Werkzeuge, Waffen
							5'000
							3'000
							100
							1'900
	Holzplatten						

Abbildung 1. Geschichte der Holzverwendung. Angaben aus (1). Zeichnung Ernst Zürcher.

Das Holz ist mit einer weltweiten Jahresproduktion von rund 26 Milliarden Tonnen oder 5 Tonnen pro Erdenbürger und Jahr mengenmässig an der Spitze vor allen anderen pflanzlichen Rohstoffen (2). Es ist der wichtigste Rohstoff unseres Landes mit einer traditionell vielfältigen Verwendung. Sein wichtigstes Einsatzgebiet ist im Bausektor (44%), gefolgt von der Energiegewinnung (20%), Karton- und Papiererzeugung (16%), dem Möbelbau (12%) sowie der Herstellung von Verpackungen (7%); (Angaben für die Schweiz im Jahre 1982 aus [3]). Das Holz ist ein erneuerbarer Rohstoff mit dezentralisiertem Vorkommen. Seine Bildung wie auch seine Auflösung sind Naturvorgänge, welche keinerlei Umweltbelastung erzeugen. Es ist – entgegen landläufiger Meinung – ein sehr dauerhafter Werkstoff, vorausgesetzt, dass es beständig in trockenem oder wassergesättigtem Zustand gehalten wird. Beweis dafür sind alte Möbel und Holzbauten ebenso wie Unterwasserbauten (zum Beispiel vorgeschichtliche Pfahlsiedlungen), im Moor gelagertes Holz (zum Beispiel das Boot aus Hjortspring aus dem 3. Jahrhundert v. Chr. oder das Nydamboot aus Eichenholz aus dem 3. bis 5. Jahrhundert [1]) oder längst versunkene Schiffe (zum Beispiel das Wasa-Schiff aus dem Jahr 1628[4]). Hingegen wird durch Wechselfeuchtigkeit eine Zerstörung des Holzes durch Bakterien, Pilze oder Insekten ermöglicht. Das Holz ist ferner korrosionsfest, das heisst gegenüber aggressiven Umweltbedingungen relativ resistent.

Die wichtigste Einzelverwendung des Holzes ist jene als Baustoff. Baumaterialien werden aufgrund der mechanischen Festigkeiten und der Isolierwerte beurteilt. Hinsichtlich seiner Festigkeitswerte ist das Holz den konkurrenzierenden Baustoffen Eisenbeton und Stahl unterlegen. Der direkte Vergleich ist jedoch nicht ganz richtig. Um die spezifische Leistungsfähigkeit eines Stoffes darzustellen, wurden die Begriffe «Reiss- und Quetschlänge» eingeführt. Die Reisslänge entspricht jener Länge eines Stabes oder Balkens, bei der dieser durch Eigengewicht im Zug zerstört wird. Sinngemäss ist die Quetschlänge jene Höhe, die ein gedachtes Prisma aus dem betreffenden Werkstoff aufweisen müsste, um gerade unter seinem Eigengewicht zu Bruch zu gehen. Bezieht man derart die Festigkeiten auf die Raumdichte, dann erweist sich das Holz seiner Konkurrenz als ebenbürtig bis überlegen. In der *Abbildung 2* sind die Reisslängen und in der *Abbildung 3* die Quetschlängen ausgewählter Materialien dargestellt. Das Holz ist – besonders in trockenem Zustand – ein hervorragender Isolator. Bedingt durch seine poröse Struktur setzt es seiner Durchdringung durch Schall, Wärme, Elektrizität und andere Wellenbewegungen einen erheblichen Widerstand entgegen. *Abbildung 4* zeigt beispielhaft die Wärmeleitfähigkeit von Holz und einigen Konkurrenzstoffen. Die Wirtschaftlichkeit der Verwendung eines Rohstoffes wird durch seine Eigenschaften, ferner auch durch die Energiebilanz seiner Gewinnung, Verarbeitung und späteren Entsorgung bestimmt. *Abbildung 5* stellt einen Vergleich ausgewählter Roh- und Werkstoffe hinsichtlich Herstellungsenergie dar: Das Holz zeichnet sich durch einen geringen Energieaufwand bei der Verarbeitung aus. Im Zeitalter steigender Entsor-

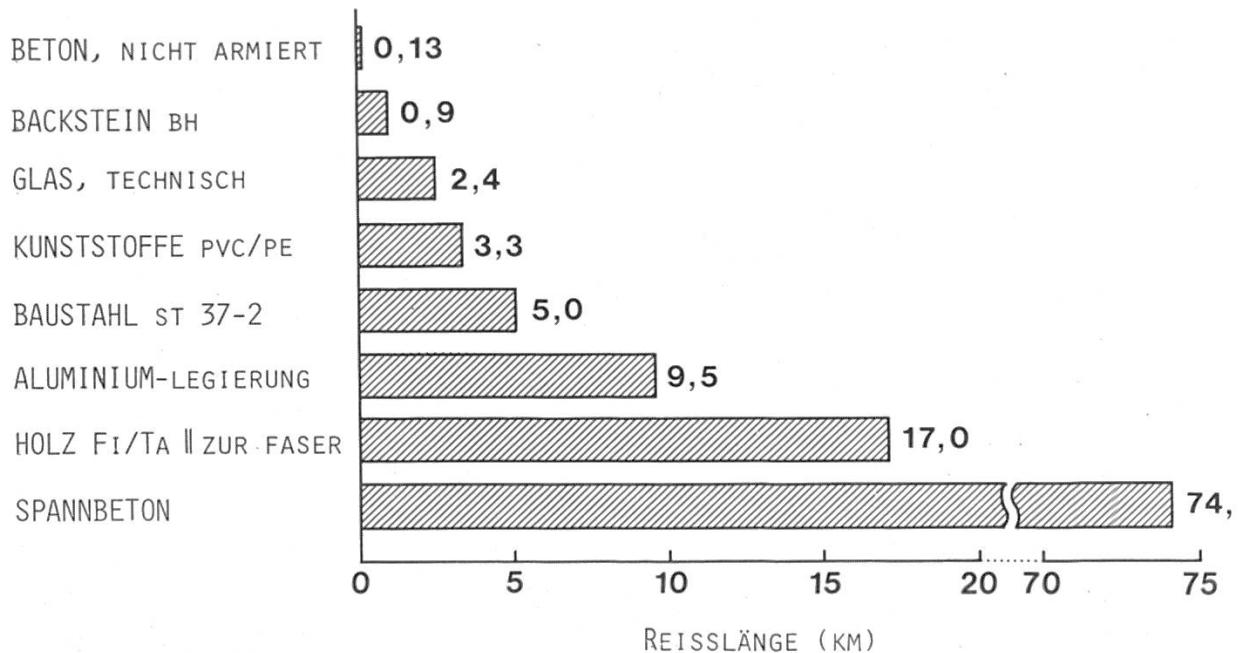


Abbildung 2. Reisslänge ausgewählter Werkstoffe. Angaben aus (5), (6) und (7).

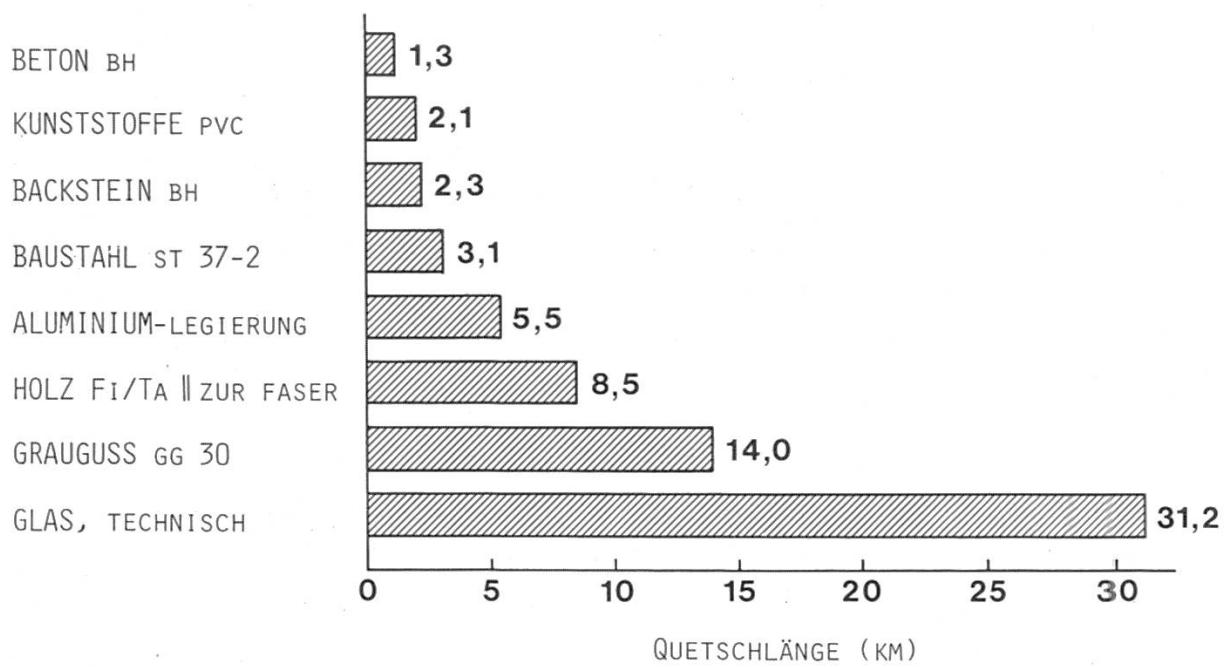


Abbildung 3. Quetschlänge ausgewählter Werkstoffe. Angaben aus (5), (6), (7) und (8).

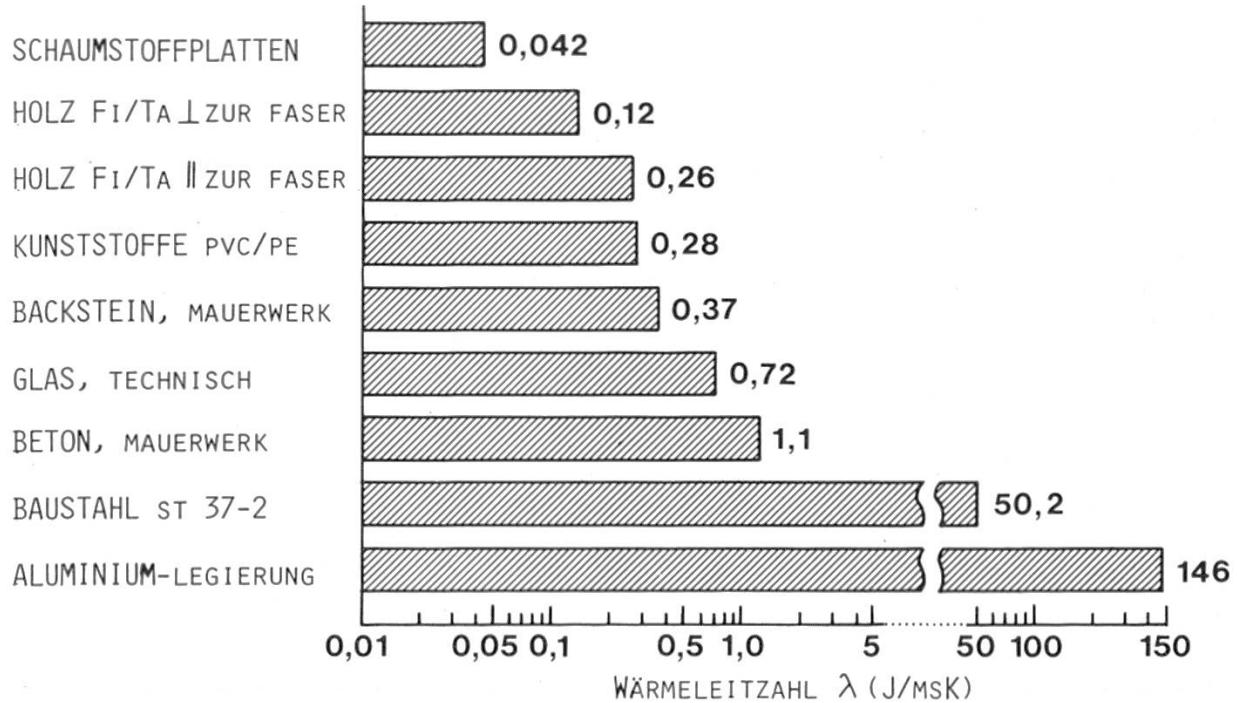


Abbildung 4. Wärmeleitzahl ausgewählter Werkstoffe. Angaben aus (6) und (7).

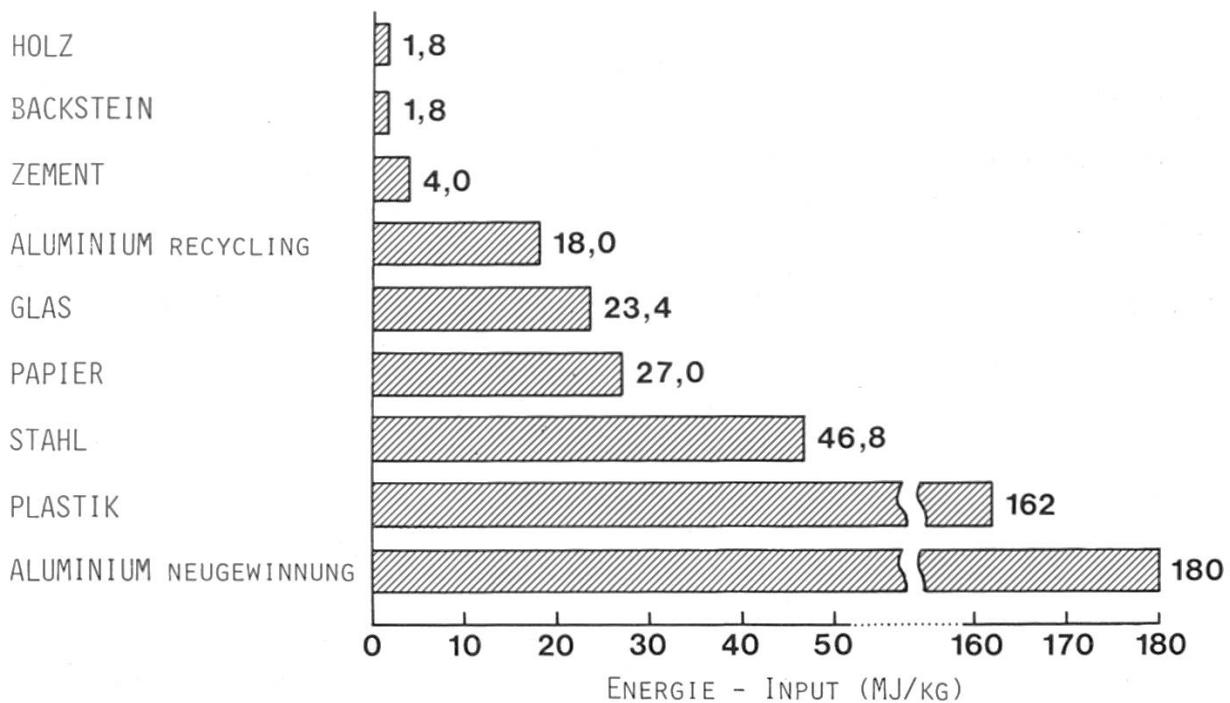


Abbildung 5. Herstellungsenergie ausgewählter Werkstoffe. Angaben aus (9) und (10).

gungskosten liegt ein weiterer Vorzug des Holzes in der positiven Energiebilanz seiner Entsorgung. Holz und andere faserhaltige Abfälle ermöglichen Einsparungen im Ölverbrauch von Kehricht-Verbrennungsanlagen. Als Naturstoff ist das Holz auf allen Strukturebenen – Molekül, Zelle, Gewebe, Organ – durch die funktionellen Bedürfnisse des Baumes bestimmt. Im Toleranzrahmen dieses Funktionellen kommt das zweite Bauprinzip – die Ästhetik – ebenfalls auf allen Ebenen zur Geltung. Holz ist, im Gegensatz zu manchen Industriprodukten, schön.

Trotz all dieser Vorteile ist die Holzverwendung auf vielen Gebieten rückläufig. Das Holz wird durch andere Roh- und Werkstoffe verdrängt oder zumindest stark konkurreniert. Der Grund dafür liegt, wie ich meine, in einer Vielfalt, welche dem biologischen Naturstoff eigen ist, welche aber seine Verarbeitung und Verwendung erschwert. Wir wollen nun untersuchen, wo die Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Holz begründet sind, um abschliessend auf mögliche Lösungen des Problems hinzuweisen zu können.

## 2. Einheit der Eigenschaften

Es gibt einige einheitliche Bauprinzipien, die in sämtlichen Organisationsbereichen – vom Molekül bis zum Lebewesen Baum – Gültigkeit haben. Zu diesen allgemeinen Prinzipien gehören die Polarität, die Schraubenstruktur, der rhythmisch-schichtweise Aufbau und die orthotrope Anisotropie. *Abbildung 6* veranschaulicht diese Bauprinzipien an je einem Beispiel aus dem fein- bzw. grobstrukturellen Bereich. Durch die Polarität werden die Wachstumsbereiche und die Orientierung der Holzzelle wie jene des Baumes bestimmt. Jede Störung der Polarität führt zu einer Reaktion in der Holzbildung, nämlich zur Reaktionsholzbildung. Die Schraubenstruktur, von *Goethe* (11) als Spiraltendenz der Natur beschrieben, kennzeichnet die Versteifung der Zellwände wie auch den Drehwuchs des Baumstammes. Stärke und Zellulose haben die gleiche chemische Zusammensetzung. Der Unterschied liegt in der Anordnung der Anhydroglucosid-Reste im Kettenmolekül: geradlinig in der Stärke, jedoch schraubenförmig in der Zellulose. Diesem «winzigen» Unterschied verdankt die Zellulose ihre bemerkenswerten Festigkeitseigenschaften. Der rhythmisch-schichtweise Aufbau ist im Zellwand- wie im Jahrringbau zu erkennen. Selbst bei den meisten Bäumen der Tropen können endogen gesteuerte Zuwachsschichten beobachtet werden. Die orthotrope Anisotropie schliesslich, die Differenzierung von Bau und Eigenschaften nach drei orthogonalen Richtungen, ist eine logische Konsequenz der ersten drei Prinzipien und im molekularen wie im makroskopischen Bereich aufzufinden. Es gibt weitere Bauprinzipien und Eigenschaften, deren Gültigkeit auf einzelne Organisationsbereiche beschränkt ist. Im chemischen Organisationsbereich sind es die Elementarzusammen-

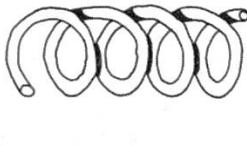
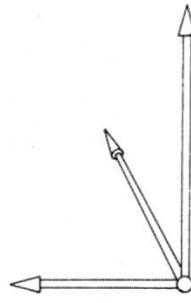
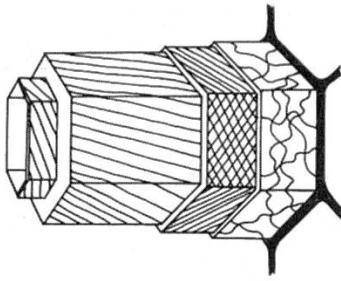
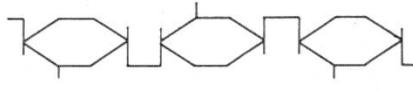
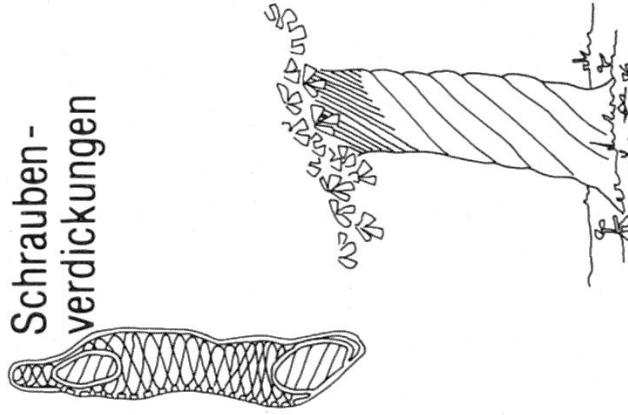
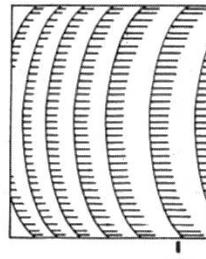
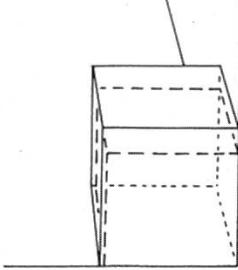
Polarität	Schraubenförmiger Aufbau	Rhythmischeschichtweiser Aufbau	Orthotropie Anisotropie
↑ ↓			
↗			
↙			

Abbildung 6. Bauprinzipien der höheren Pflanzen. Zeichnung Ernst Zürcher.

setzung — das Holz ist allgemein aus rund 50% Kohlenstoff, 44% Sauerstoff und 6% Wasserstoff aufgebaut — und der molekulare Aufbau des Holzes aus aliphatischen (Zellulose: 40 bis 60%; Hemizellulose: 20 bis 30%) und aromatischen (Lignin: 20 bis 30%) Makromolekülen. Der mikroskopische Organisationsbereich ist durch die geringe Anzahl von Zelltypen charakterisiert: faserförmige Tracheiden und backsteinförmige Parenchymzellen im Nadelholz. Im Laubholz treten zusätzlich zwei spezialisierte Zelltypen auf: die echten Fasern des Festigungsgewebes und die wasserleitenden Gefäßzellen. Eine universelle Holzeigenschaft aus dem makroskopischen Organisationsbereich ist die Reindichte — sozusagen das spezifische Gewicht der porenenfreien Zellwand. Die Reindichte beträgt unabhängig von der Holzart den Wert von rund  $1,50 \text{ g/cm}^3$ . Die unterschiedliche Raumdichte leichter und schwerer Hölzer ist folglich in verschiedenem Porenanteil begründet. Ein makrokopisches Bauprinzip mit allgemeiner Gültigkeit ist das Vorhandensein von Wachstumsspannungen im Baumstamm. Im zentralen Bereich des stehenden Stammes sind die Zellen und Gewebe unter Druckspannung, im peripheralen unter Zugspannung. Zwischen den beiden Bereichen befindet sich eine neutrale Zone, welche in Abhängigkeit des Zuwachses nach aussen hin verschoben wird. Im stehenden Baum sind die druck- und zugbeanspruchten Bereiche in einem delikaten Gleichgewicht, welches bei der Fällung des Baumes zerstört wird. Dies kann gegebenenfalls zur Bildung von radial orientierten Längsrissen führen.

### 3. Vielfalt der Eigenschaften

Die Vielfalt der Holzeigenschaften beruht auf qualitativen Unterschieden (zum Beispiel verschiedene Holzarten) und auf quantitativer Variabilität (zum Beispiel variierende Jahrringbreite bei der gleichen Holzart). Sie betrifft alle Organisationsbereiche und kann in vier Kategorien eingeteilt werden.

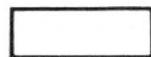
#### 3.1 *Die Artzugehörigkeit oder die genetisch bedingte Variabilität*

Der natürliche Artenreichtum ist die grösste Quelle der Vielfalt der Holzeigenschaften. Das Pflanzenreich besteht aus sieben Abteilungen mit rund 360 000 Arten. Davon entfallen allein auf die Abteilung der Samenpflanzen etwa 250 000 Arten, welche mit Ausnahme der rund 600 Gymnospermen den Angiospermen angehören (12, 13). Die Anzahl der Holzgewächse wird auf 25 000 bis 30 000 oder mehr geschätzt, wovon mindestens 3000 bis 5000 für gewerbliche Zwecke geeignet sind (14). Gehandelt werden auf den Weltmärkten jedoch nur einige hundert Arten. Dieser Artenreichtum ist weltweit ungleichmäßig verteilt. Während in Europa 20 bis 30 Baumarten bestandbildend sind, rechnet man in Südamerika mit rund 2000 und in Südostasien sogar mit 3000

BALSA



BUCHE



POCKHOLZ



RAUMDICHTE

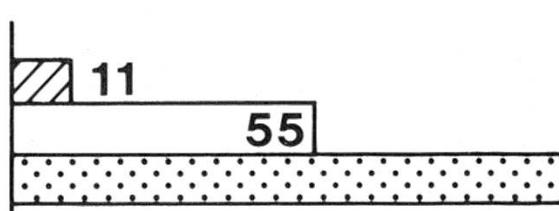
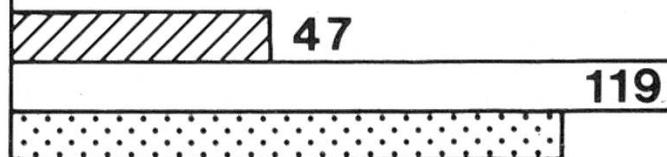
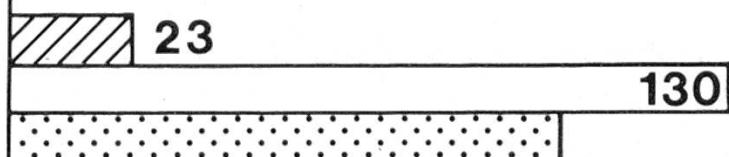
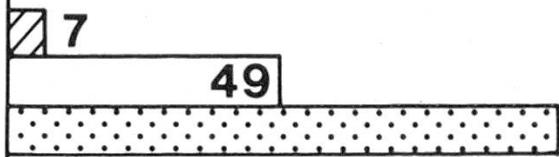
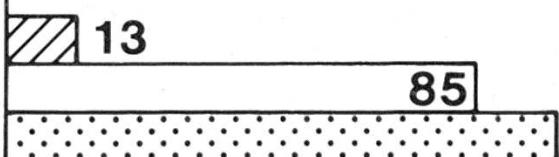
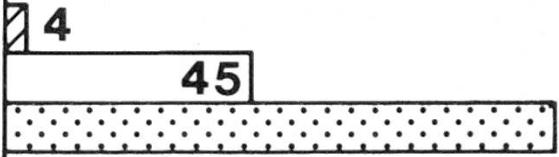
VOLUMEN-  
SCHWINDMASSBIEGE-  
ELASTIZITAETSMODUL  
PARALLEL ZUR FASERDRUCKFESTIGKEIT  
PARALLEL ZUR FASERBIEGEFESTIGKEIT  
QUER ZUR FASERBRINELLHAERTE  
PARALLEL ZUR FASER

Abbildung 7. Vergleich ausgewählter Holzeigenschaften von Balsa, Buche und Pockholz. Angaben aus (16).

BERGAHORN

EDELKASTANIE

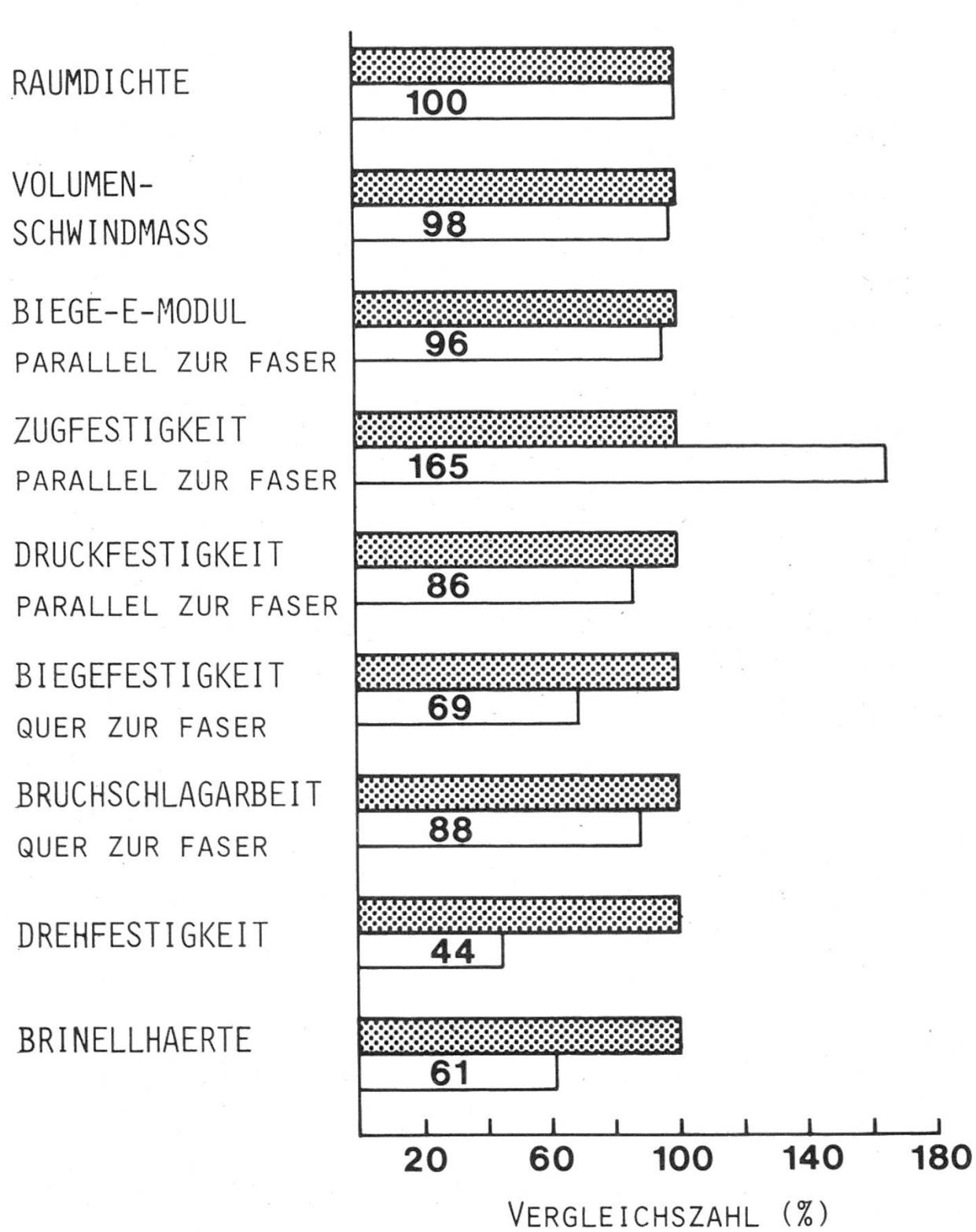


Abbildung 8. Vergleich ausgewählter Holzeigenschaften von Bergahorn und Edelkastanie. Angaben aus (16).

bis 4000 Holzarten (15). In der Abbildung 7 werden die leichteste und die schwerste Holzart der Erde – Balsa und Pockholz – miteinander verglichen. Als dritte Holzart wurde Buche in diesen Vergleich aufgenommen; ihre Raumdichte stellt exakt den Mittelwert der erstgenannten Arten dar. Die im Vergleich aufgeführten Holzeigenschaften variieren mit dem Faktor 5 bis 20. Aus der Raumdichte lassen sich viele physikalische Kenngrößen ableiten; es gibt jedoch auch Ausnahmen, welche auf die Bedeutung der anatomischen Struktur und der chemischen Zusammensetzung für die Festigkeitseigenschaften hinweisen. Der Bergahorn und die Edelkastanie besitzen beispielsweise die genau gleiche Raumdichte, unterscheiden sich jedoch teilweise erheblich in ihren physikalisch-mechanischen Eigenschaften (Abbildung 8). Durch die Vielfalt der Holzeigenschaften werden die Baumarten verschiedenen Lebensbedingungen gerecht. Nicht immer decken sich aber diese Eigenschaften mit den Bedürfnissen der industriellen Holzverwendung. Hier wäre die Entdeckung oder Züchtung neuer Arten, wie sie in der Abbildung 9 dargestellt sind, von grossem Nutzen.

Mit der Artenvielfalt sind die Forschung und Praxis bislang bei weitem nicht fertiggeworden. Während in den Industrieländern der Kenntnisstand relativ hoch ist, gibt es in vielen tropischen Entwicklungsländern noch sehr viel zu tun. Betrachten wir das Elementarste: die Namensgebung. Zusätzlich zur eindeutigen – wenn auch oft wechselnden – botanischen Nomenklatur besitzen

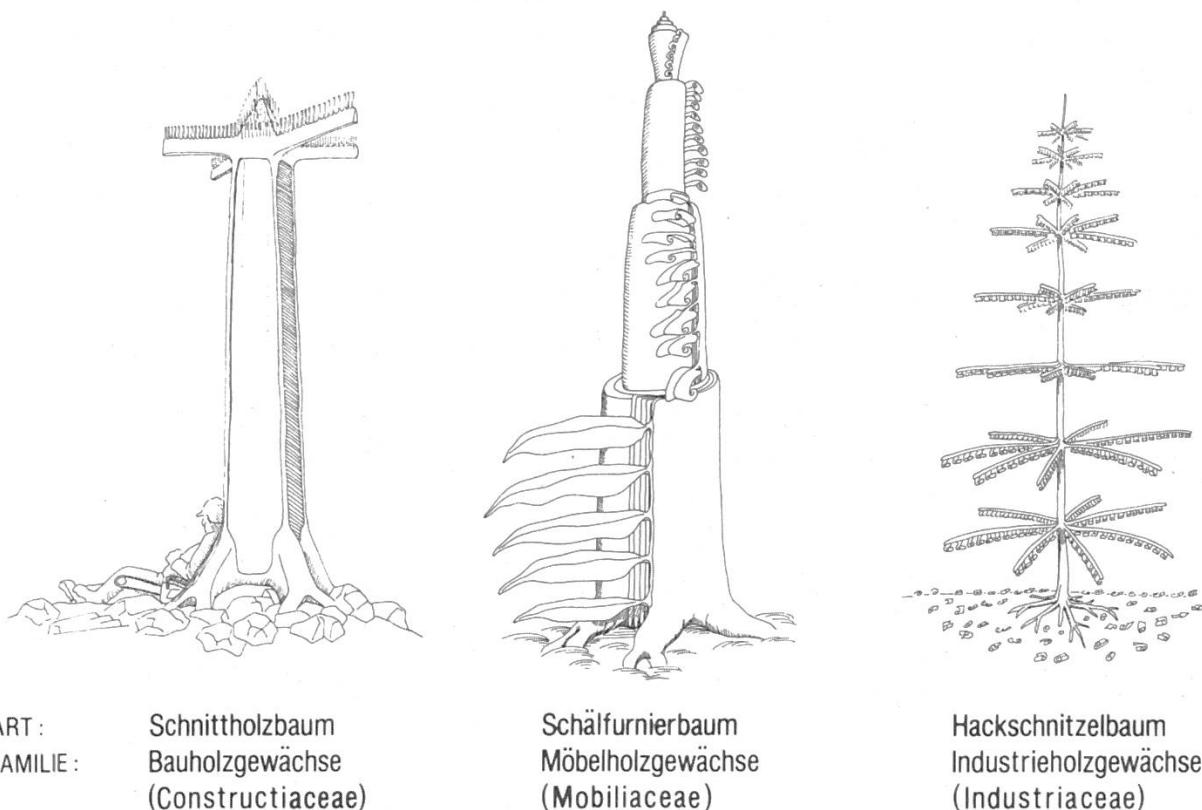


Abbildung 9. Wünschenswerte Baumarten aus der Sicht der Holzverwendung. Zeichnung Ernst Zürcher.

die meisten Handelshölzer je nach Verbreitung einen oder mehrere Eingeborennamen und dazu oft noch mehrere Handelsnamen, welche den wichtigsten Handelssprachen entnommen sind. Im «Buch der Holznamen» aus dem Jahre 1933 (17) wurden 35 000 Trivialnamen zusammengestellt, doch bereits im vierbändigen Standardwerk «Die Nutzhölzer der Welt» aus dem Jahre 1939 (18) werden die aufgezählten 12 000 nutzholzliefernden Pflanzen mit insgesamt rund 100 000 Namen identifiziert. Homonymie – gleicher Name für verschiedene Arten – und Synonymie – verschiedene Namen für die gleiche Art – sind weit verbreitet und erschweren den Holzhandel. Stellvertretend drei Beispiele:

1. Mit dem Namen «Roble» werden in Südamerika Arten aus teilweise völlig unverwandten Gattungen *Amburana*, *Astronium*, *Nothofagus*, *Platymiscium*, *Quercus* und *Tabebuia* bezeichnet (19).
2. Der Dao-Nussbaum (*Dracontomelum dao*, *Anacardiaceae*) wird, je nach philippinischem Herkunftsland, als Batuan, Dao, Habás, Hamarak, Kamárik, Kiakia, Lamió, Lupigi, Makadang, Makau, Malaiyao oder Mamakao genannt (18).
3. Die bekannte Holzart Limba (*Terminalia superba*, *Combretaceae*) wird in sieben afrikanischen Herkunftsländern mit 49 verschiedenen Namen bezeichnet (18).

Es sei nun die späte Frage erlaubt, was Holz eigentlich ist. Im Fachlexikon (20) findet man die anerkannte Antwort: Holz ist das vom Kambium der Gymnospermen und dikotylen Angiospermen angelegte wasserleitende Dauer gewebe. Der Stamm der einkeimblättrigen Palmen kann in seiner Gesamtheit nicht als Holz bezeichnet werden, sondern lediglich der Xylemteil der einzelnen Gefäßbündel. Wie weit diese Definition zur praktischen Anwendung des dichten und harten «Palmenholzes» im Widerspruch steht, braucht weiter nicht betont zu werden.

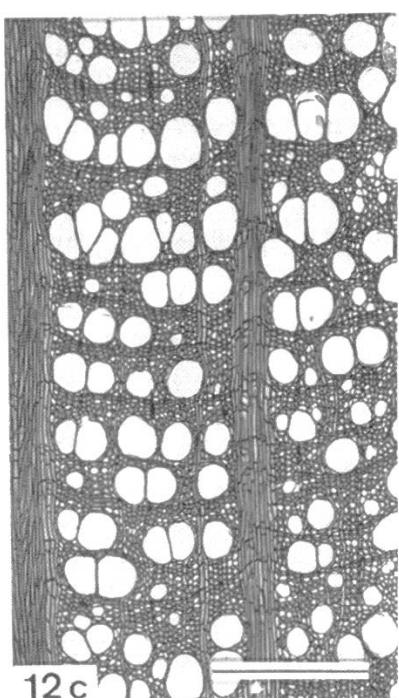
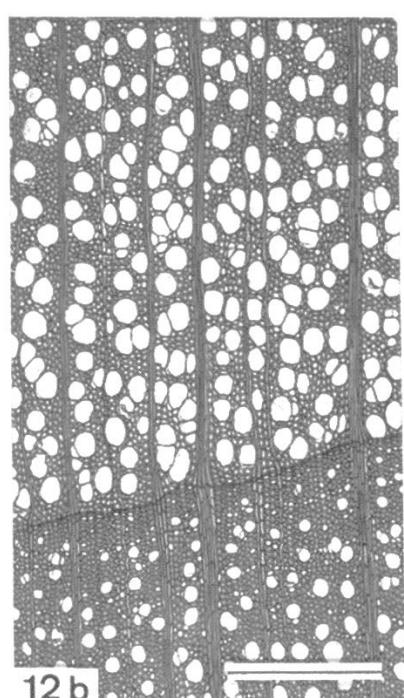
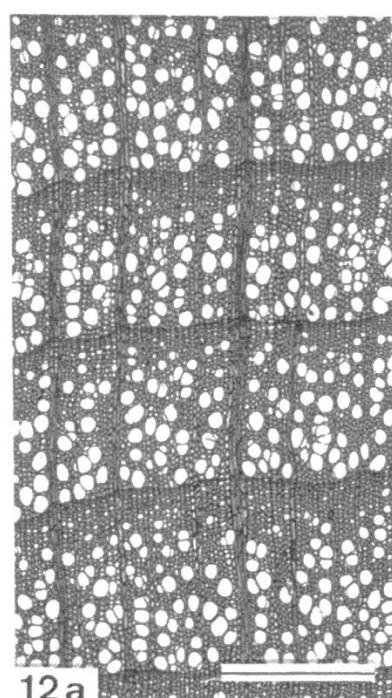
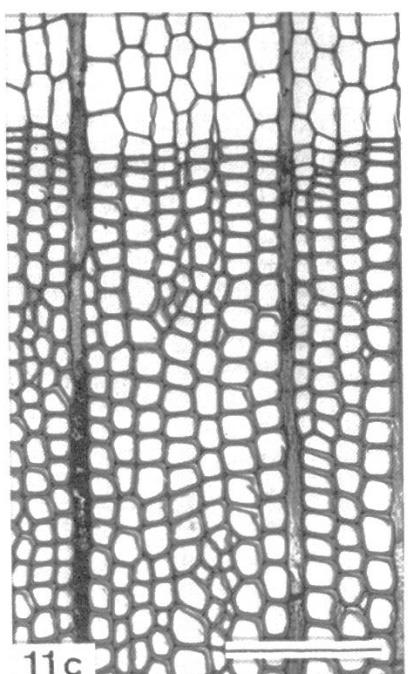
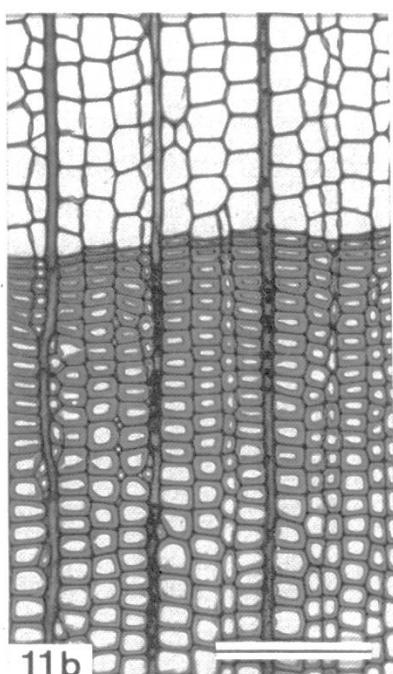
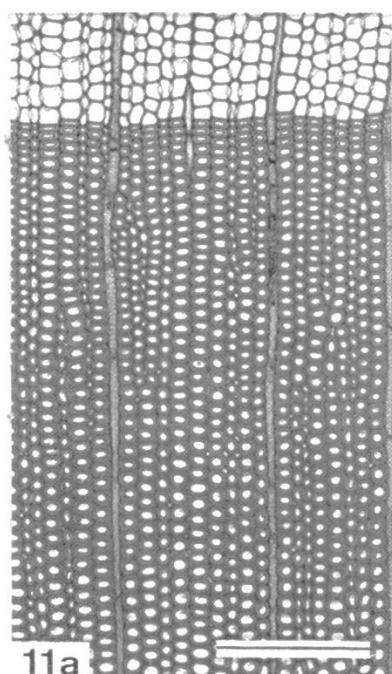
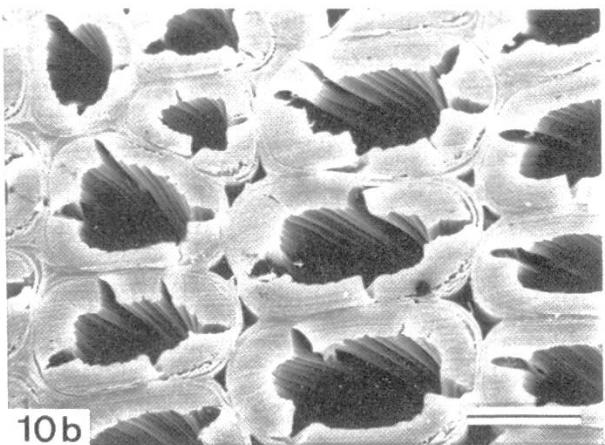
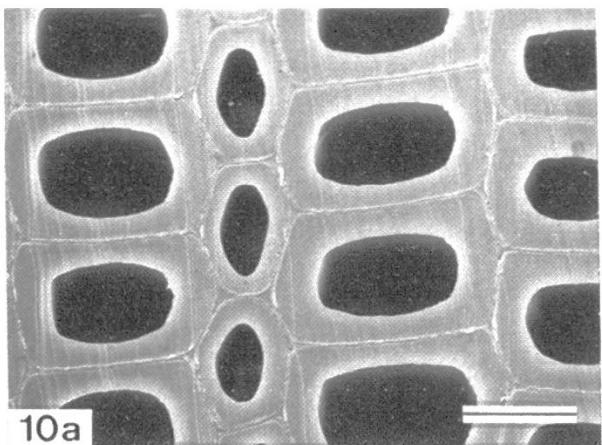
### 3.2 Die Vorgeschichte

Jedes Stück Holz, das verwendet wird, hat eine Vorgeschichte, aus welcher seine Eigenschaften erklärt werden können. Das Holz ist – wie übrigens alle organischen Stoffe – dem biologischen Stoffkreislauf der Natur unterworfen. Die Abschnitte dieses Kreislaufes sind die Bildung, die Alterung und die Auflösung (21). Messbar sind diese Vorgänge am Energiegehalt und am Ordnungszustand. In der Bildungsphase sind die Vorgänge Zellteilung, Zelldeterminierung und Zelldifferenzierung massgebend. Dabei werden der Zuwachs, die Umfangerweiterung und die anatomisch-chemische Zusammensetzung der Gewebe bestimmt, welche ihrerseits die physikalischen Eigenschaften dominieren. Die Phase der Änderung ist eine eigentliche Alterungsphase, da es sich hier zumeist um irreversible Vorgänge handelt. Diese Phase enthält vor allem die Verker-

nung zentraler Holzpartien, wobei die Gewebe ihrer physiologischen Funktionen in der Wasserleitung und Stoffspeicherung enthoben werden. Die Veränderungen sind je nach Holzart verschieden ausgeprägt; sie betreffen vorab die Physik und Chemie des Holzes und nur zum kleineren Teil dessen Anatomie. Der abschliessende Vorgang der Auflösung kommt einer Zerstörung des Holzes durch chemische, mechanische oder thermische Einwirkungen gleich, welche biotischen oder abiotischen Ursprungs sind. Häufig ist die Holzzerstörung Folge mehrerer Einwirkungen. Am Ende dieser Entwicklung ist das Holz in seinen Urzustand zurückgeführt; es können aber auch gewisse Abbauprodukte durch andere Organismen (zum Beispiel Pilze oder Insekten) assimiliert werden. Die für die Vorgeschichte des Holzes geltenden Einflussfaktoren sind teils exogenen, teils endogenen Ursprungs. Als Beispiel eines exogenen Einflusses soll hier die Druckholzbildung angeführt werden. Der Stamm eines Nadelbaumes gerät aus der senkrechten Lage, worauf als Reaktion Druckholz gebildet wird. Dieses unterscheidet sich in allen Organisationsbereichen vom «normalen» Holz. Chemisch zeichnet es sich durch einen relativ hohen Ligningehalt aus, erkennbar an der dunklen Holzfarbe, anatomisch durch Besonderheiten in der Zellform und im Zellwandaufbau (*Abbildung 10*) und physikalisch schliesslich durch abweichende Festigkeitswerte und ein verändertes Schwindverhalten. Der endogene Einfluss kann an der vorherrschenden Spezialisierung der Gewebe im Astholz (Festigung), im Stammholz (Wasserleitung) und in der Wurzel (Speicherung) je einer Tanne und Buche veranschaulicht werden. Die *Abbildungen 11* und *12* zeigen Gewebeausschnitte aus den genannten Organen; die offensichtlichen Unterschiede bezüglich Anteil und Dimensionen der Zellen haben Auswirkungen auf die chemische Zusammensetzung (Zellulose- und Ligninanteil) wie auch auf die physikalischen Eigenschaften (Schwindverhalten, Festigkeitswerte) des Holzes aus diesen Organen. Weitere Beispiele liessen sich aus den Bereichen Jahrringbau, Astigkeit, Drehwuchs, klimatische Einflüsse, Pilzbefall, Zerstörung durch Insekten oder höhere Tiere und mehr anführen.

### 3.3 Die Orientierung im Baumkörper

Der chemische und anatomische Aufbau des Holzes sind im Baumkörper nach drei Vorzugsrichtungen orientiert: axial, radial und tangential. Die strukturelle Anisotropie ist eine universelle Eigenschaft, welche das Zellulosemolekül, die Faserzelle und den Baumstamm gleichermaßen betrifft. Für die physikalisch-mechanischen Eigenschaften bedeutet dies eine strenge Richtungsabhängigkeit. Dabei sind die Unterschiede zwischen der radialen und der tangentialen Richtung um eine Zehnerpotenz kleiner als jene zwischen den Richtungen längs und quer zum Faserverlauf. Daher wurde die Unterscheidung radial-tangential bislang hauptsächlich bei den Schwindwerten konsequent ein-



gehalten, sonst aber häufig vernachlässigt. In der *Tabelle 1* sind die Verhältniszahlen der wichtigsten physikalisch-mechanischen Holzeigenschaften in Abhängigkeit von der Prüfrichtung – längs oder quer zum Faserverlauf – zusammengestellt. Diese Verhältniszahlen stellen Größenordnungen dar, welche aus den entsprechenden Kennwerten der einheimischen Holzarten abgeleitet wurden. Es können dabei unschwer drei Gruppen von Eigenschaften ausgemacht werden:

1. Das Schwinden und die Biegefesteitgkeit aus dem statischen und dynamischen Versuch dominieren quer zur Faserrichtung mindestens um eine Zehnerpotenz.
2. Die Leitfähigkeiten (thermisch, elektrisch, akustisch) und die Härte sind rund doppelt so gross in axialer als in transversaler Richtung.
3. Die Zug- und Druckfestigkeit dominieren längs zur Faserrichtung mindestens um eine Zehnerpotenz.

Die hier aufgezeigten Tendenzen dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Angaben über viele Holzarten bzw. deren physikalische Eigenschaften noch recht unvollständig sind. Es ist ein Erfolg der modernen Holzverarbeitung, dass die Anisotropie des massiven Holzes in den Holzwerkstoffen wie Papier, Sperrholz, Holzfaser- und Holzspanplatte teilweise bis weitgehend aufgehoben werden konnte.

*Tabelle 1.* Verhältniszahlen physikalischer Holzeigenschaften in Abhängigkeit von der Prüfrichtung (Größenordnungen). Angaben aus (16).

Eigenschaft	Richtung	längs	quer
		zur Faserrichtung	
Biegefesteitgkeit		1	7–15
Schwindmass		1	10–20
Bruchschlagarbeit		1	30–60
Dielektrizitätskonstante		1–2	1
Wärmeleitzahl		2	1
elektrische Leitfähigkeit		2	1
Brinellhärte		2	1
Schallgeschwindigkeit		4	1
Druckfestigkeit		7–15	1
Zugfestigkeit		10–30	1

*Abbildung 10.* Fichte, Querschnitt, rasterelektronenmikroskopische Aufnahme, Marke = 20 µm; a = normales Holz, b = Druckholz.

*Abbildung 11.* Tanne, Querschnitt, lichtmikroskopische Aufnahme, Marke = 0,2 mm; a = Astholz, b = Stammholz, c = Wurzelholz.

*Abbildung 12.* Buche, Querschnitt, lichtmikroskopische Aufnahme, Marke = 0,5 mm; a = Astholz, b = Stammholz, c = Wurzelholz.

### 3.4 Der Zustand

Im Verlauf seiner Verwendung als Baumaterial, Möbelteil oder Gebrauchsgegenstand ist das Holz variierenden Umweltbedingungen ausgesetzt. Dabei sind besonders Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen zu beachten. Die physikalisch-mechanischen Kennwerte des Holzes sind keine Konstanten; sie sind Zustandsgrößen, die sich in Abhängigkeit von Temperatur und Wassergehalt verändern. Bei erhöhten Temperaturen zeigt das Holz ein thermoplastisches Verhalten, welches auf die reversible Erweichung der Kittsubstanz zwischen den Zellen zurückzuführen ist. Mit steigender Temperatur nehmen der Biege-Elastizitätsmodul und die Festigkeiten ab, während andere Kennwerte wie Wärmeleitzahl und elektrische Leitfähigkeit ansteigen. Bedeutender, aber auch komplizierter ist das Verhältnis vom Holz zum Wasser. Das Holz ist ein Kapillarkörper mit einer inneren Oberfläche, die rechnerisch und messtechnisch ermittelt wurde. Sie beträgt je Kubikzentimeter Holz bei der Fichte 85 bis 105 m<sup>2</sup> und bei der Eiche 130 m<sup>2</sup> (22). Gerät trockenes Holz in Berührung mit Wasser in flüssiger oder Dampfform, dann findet eine Aufnahme zunächst an den Oberflächen statt. Das Wasser wird hier an die vielen reaktiven Hydroxylgruppen gebunden. Diese Art der Wasseraufnahme spielt sich zwischen absolut trockenem Zustand und der Fasersättigung (rund 30% Wassergehalt) ab und ist mit der Quellung des Holzes verbunden. Weitere Wasseraufnahme oberhalb der Fasersättigung kann bis zu einem Maximum von etwa 200 bis 250% erfolgen. Das dabei aufgenommene Wasser bleibt frei tropfbar in den makroskopischen und mikroskopischen Zellumina und bewirkt keine weitere Dimensionsänderung des Holzes. Mit steigendem Feuchtigkeitsgehalt zwischen 0% und 30% nehmen die mechanischen Kennwerte des Holzes (Zug-, Druck- und Biegefesteit, Härte, Biege-Elastizitätsmodul) teilweise erheblich ab. Oberhalb der Fasersättigung hat der Wassergehalt nur noch einen geringen Einfluss auf die Festigkeitswerte. Eine Ausnahme aus dieser Regel bildet die Bruchschlagarbeit, welche vom Feuchtigkeitsgehalt unabhängig oder mit diesem schwach positiv korreliert ist. Dass diese Eigenschaften den Bedürfnissen des stehenden Baumes – Beweglichkeit bei guter Querfestigkeit – entsprechen, ist ein Beleg der Funktionalität in diesem Bereich. Die thermische und elektrische Leitfähigkeit des Holzes sind mit seinem Feuchtigkeitsgehalt positiv korreliert; die Wärmeleitzahl erhöht sich zwischen 0% und 30% Feuchtigkeitsgehalt mit dem Faktor 2, die elektrische Leitfähigkeit gar mit dem Faktor 10<sup>6</sup>.

Ebenso wie die Prüfrichtung hinsichtlich Faserverlauf müssen bei jedem physikalisch-mechanischen Kennwert die Temperatur und der Feuchtigkeitsgehalt des Prüfkörpers angegeben werden. Hierbei hat man sich international weitgehend auf 20° Celsius und 12% Holzfeuchtigkeit geeinigt. Der Feuer- und Feuchteschutz sind wesentliche Aufgaben der holztechnologischen Forschung. Beim Feuerschutz geht es darum, die Wärmeaufnahme, die Entflammbarkeit und die Brennbarkeit des Holzes zu vermindern. Der Feuchtigkeitsschutz ist

wichtig aus der Sicht der Dimensionsstabilität des Holzes und ferner im Zusammenhang mit einem potentiellen Pilz- oder Insektenbefall.

#### 4. Folgerungen

Die qualitative und quantitative Vielfalt der Holzeigenschaften stehen im Widerspruch zur Anforderung an einen Industrierohstoff nach weitgehender Homogenität. Heterogenität, gepaart mit hohen ästhetischen und Sicherheitsanforderungen, führt zur schlechten Wirtschaftlichkeit. Vergleicht man beispielsweise die Streuung der Druckfestigkeiten von Fichten- und Föhrenholz mit den zulässigen Längsdruckspannungen für Bauholz, dann wird das Problem deutlich. Dabei wurden die Werte in der Abbildung 13 an kleinen, fehlerfreien Proben gewonnen und decken somit nicht den gesamten Variabilitätsbereich ab. Zunächst ist jede Holzeigenschaft zeitabhängig, sodann zeigt sie zu jedem Zeitpunkt eine Variationsbreite, welche in der Artzugehörigkeit, der Prüfrichtung und im physikalischen Zustand des Prüfkörpers – Temperatur, Wassergehalt – begründet ist.

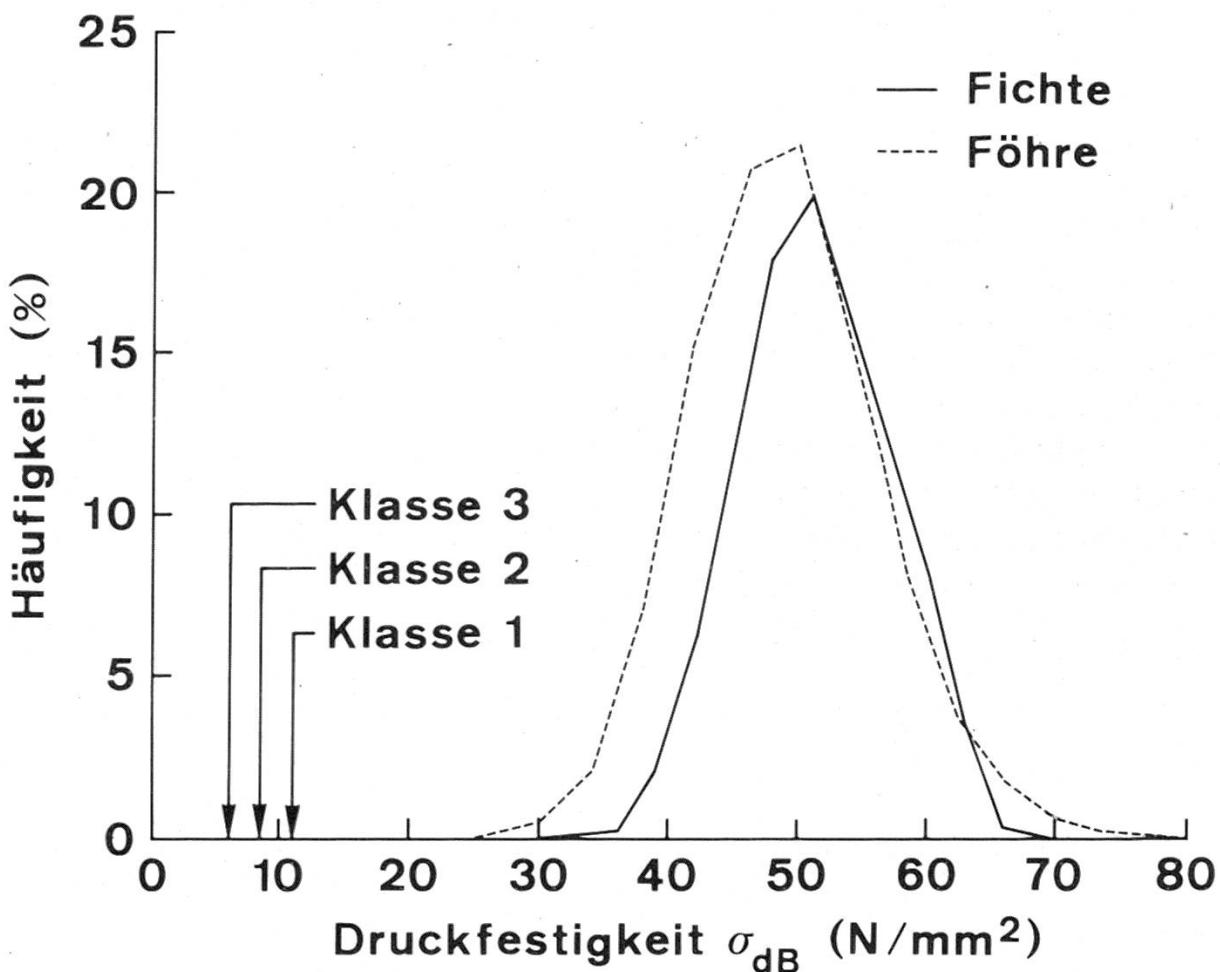
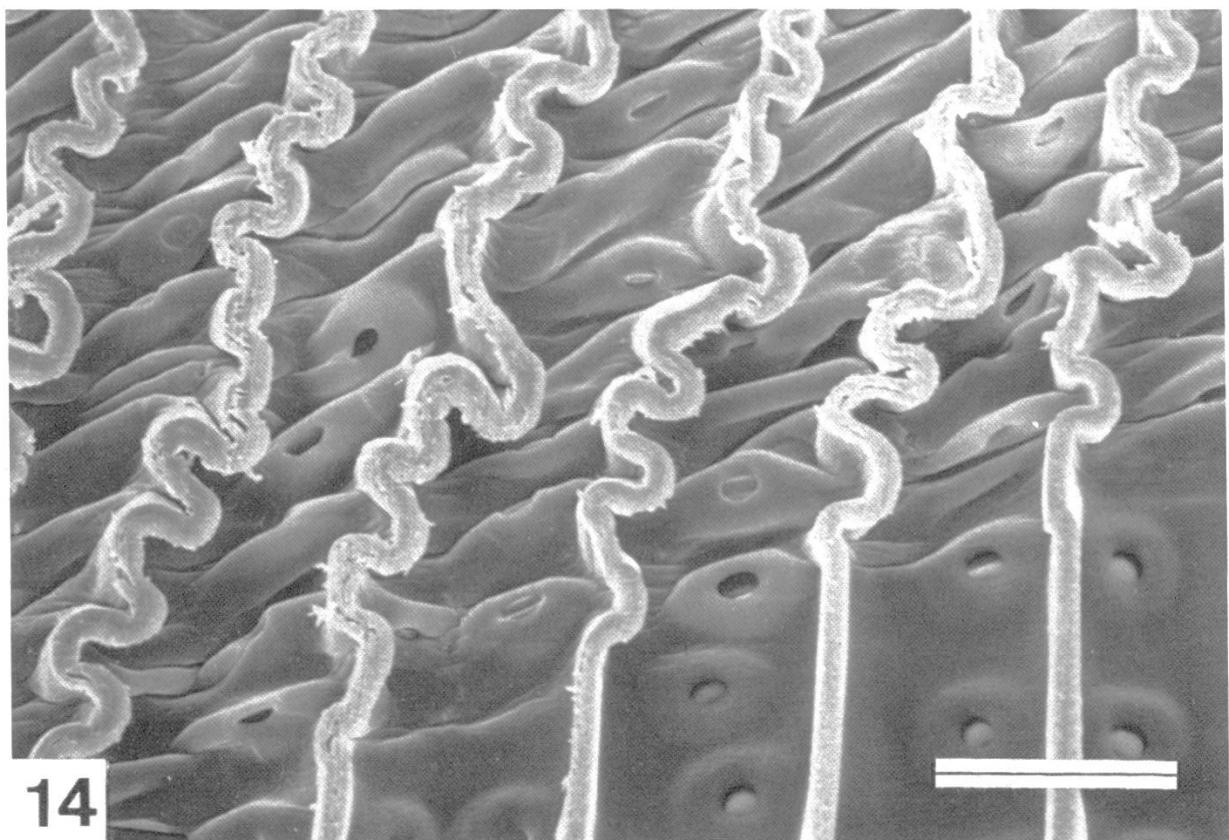
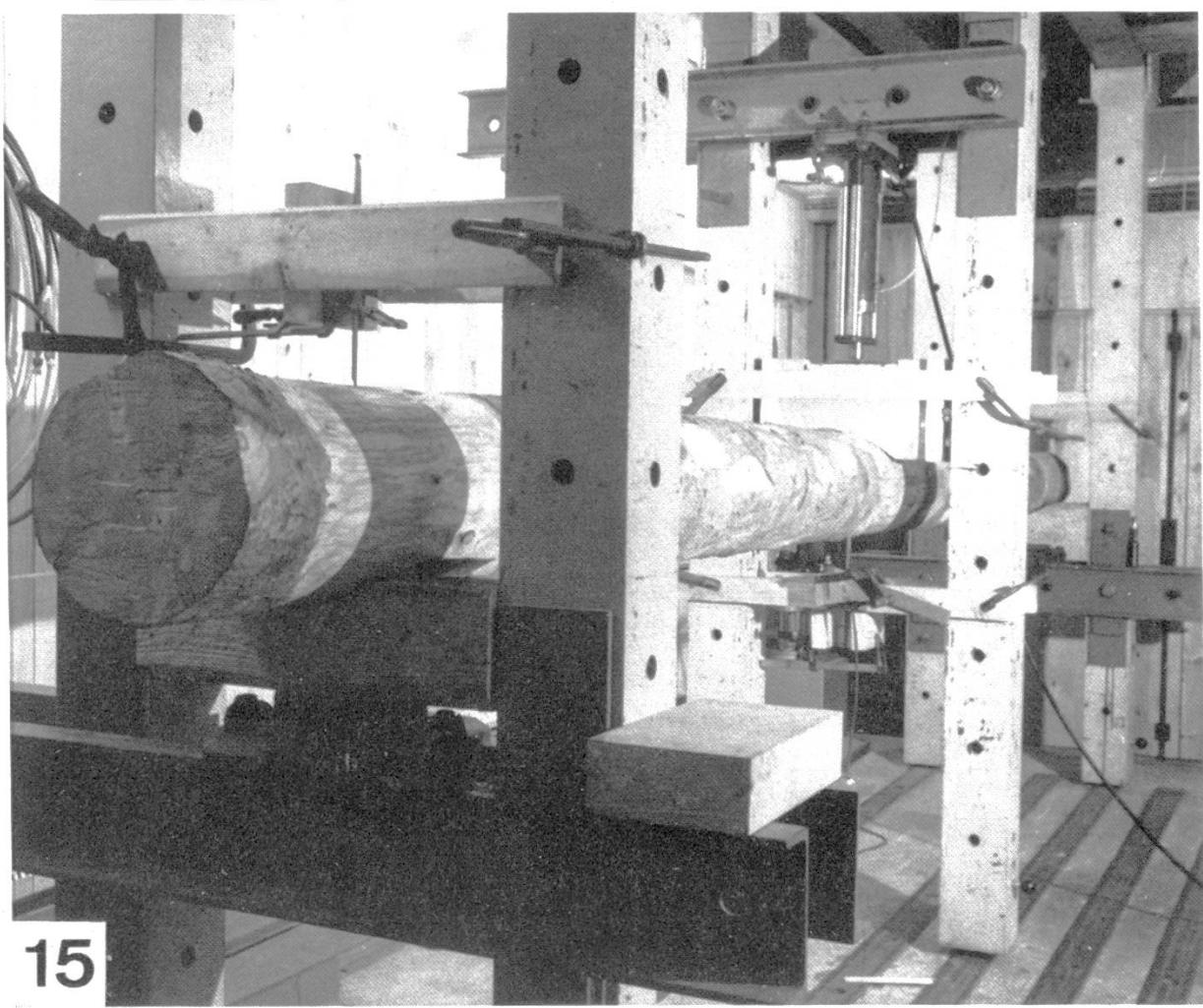


Abbildung 13. Häufigkeitsverteilung der Druckfestigkeitswerte von Fichten- und Föhrenholz. Pfeile: zulässige Längsdruckspannung für Bauholz der Güteklassen 1–3. Aus (16), leicht modifiziert.



14



15

Die bisherige Erforschung der quantitativen Variabilität wurde grösstenteils an sogenannten «kleinen fehlerfreien Prüfkörpern» durchgeführt. Diese Prüfkörper erwiesen sich oft als zu gross, um ursächliche Einblicke in die Holzstruktur zu gewähren, jedoch zu klein aus der Sicht des Praktikers, der auf den Zusammenhang zwischen Kennwert und Probengrösse hinweist. Derzeit sind in der diesbezüglichen Holzforschung zwei gegensätzliche Richtungen zu erkennen:

1. Die «Analytiker». Sie wollen den Ursachen der Variabilität nachspüren und Zusammenhänge aufdecken. Diese Richtung bedient sich immer kleinerer Probendimensionen und wird hier am Beispiel der Untersuchung des Bruchverhaltens des Fichtenholzes im Rasterelektronenmikroskop veranschaulicht (*Abbildung 14*).
2. Die «Synthetiker». Diese möchten vorab praxisnahe Daten erarbeiten und greifen zu immer grösseren Probendimensionen. Als Beispiel mag hier die Prüfung der Biegefestigkeit eines Fichtenstammes dienen (*Abbildung 15*).

Die beiden Richtungen stehen teilweise rechtverständnislos einander gegenüber. Kürzlich hat an einem internationalen Symposium ein namhafter kanadischer Forscher und Vertreter der Gruppe der «Synthetiker» erklärt: «Wood is not timber and timber is not wood.» Er meinte damit den Unterschied zwischen einer Laborprobe und einem Holzbalken. In der Diskussion konterte ein ebenso berühmter Vertreter der Gruppe der «Analytiker»: «You are going to know a lot, yet to understand very little», womit der Unterschied zwischen Wissen und Verstehen angesprochen wurde. Welche der beiden Richtungen ist nun auf dem richtigen Pfad? Ich meine, dass es beide, die Analyse wie die Synthese, gleichermaßen braucht und dass sie erst gemeinsam ein sinnvolles Ganzes bilden.

Aus dem Geschilderten können einige Folgerungen abgeleitet werden:

1. Die *quantitative Variabilität* kann mit statistischen Mitteln erfasst werden. Derartige Erhebungen sind zweifellos nützlich zur Darstellung der gesamten Variabilität, gewähren jedoch im Einzelfall kein sicheres Urteil über die Holzqualität. In Anbetracht der raschen Fortschritte auf dem Gebiet der computergesteuerten Mess- und Regeltechnik liegt die zukünftige Lösung dieses Problems in der destruktionsfreien Prüfung jedes einzelnen Werkstücks.

▷ *Abbildung 14.* Fichte, Radialschnitt, rasterelektronenmikroskopische Aufnahme, Marke = 40 µm. Tracheiden deformiert durch axiale Druckbelastung.

*Abbildung 15.* Prüfung der Biegefestigkeit eines Fichtenstammes. Aufnahme Wilhelm Menig.

2. Die *qualitative und quantitative Vielfalt* sollte vermehrt zu folgenden Massnahmen Anlass geben:

- Förderung von neuen und eigenschaftsspezifischen Verwendungen (Holzarten und Sondermerkmale),
- Steigerung der Akzeptanz in den Fällen, in denen aus einer Eigenschaft kein Nachteil erwächst (Sondermerkmale wie Astigkeit usw. im ästhetischen Zusammenhang),
- Beheben der Vielfalt durch genetische und waldbauliche Massnahmen (Sondermerkmale, quantitative Variabilität im Jahrringbau) und
- Beheben der Vielfalt durch verbesserte oder neue Technologien (Anisotropie, Dimensionsstabilität, Brennbarkeit, Resistenz gegen biologische Holzzerstörung).

## Résumé

### **Unité et diversité de la matière qu'est le bois — causes et effets**

En introduction sont présentés l'histoire, l'emploi et les propriétés du bois en tant que matière première. Le bois, malgré sa diversité et ses propriétés remarquables, est menacé et en partie évincé par les matières premières concurrentes. Nous en voyons la cause dans la grande diversité de ses propriétés. Cette diversité, fondée sur l'appartenance du bois à différentes espèces, sur son histoire, sur l'orientation des éléments dans l'arbre et sur l'état physique du bois, est confrontée aux quelques principes de construction unitaires du bois. En conclusion, la possibilité d'écartier les conséquences désavantageuses de cette diversité est examinée.

Traduction: S. Croptier

## Literatur

- (1) *Brockhaus Enzyklopädie* (1966–1974): Band 6, 8, 13, 14, 16 und 19; 17. Auflage, F. A. Brockhaus, Wiesbaden.
- (2) *Sandermann, W.* (1973): Die «wahren» Dimensionen im makromolekularen Bereich. Holz als Roh- und Werkstoff 31: 11.
- (3) *Lignum* (1984): Gesundes Holz aus krankem Wald, Zürich, 1 S.
- (4) *Thunell, B.* (1985): Moisture conditions in PEG-treated wood from the warship Wasa. 6 S. In: Kučera, L. J. (Hrsg.), Xylorama, Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Stuttgart.
- (5) *DIN-Normenwerk*, Normen Nr. 1725, 17 100, 68 364.
- (6) *SIA-Normenwerk*, Normen Nr. 162, 177 und 381/1.
- (7) *Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau* (1974): Hrsg. F. Sass, Ch. Bouchée und A. Leitner, Band 1. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 959 S.
- (8) *Dechema-Werkstofftabelle* (1963 ff.): Hrsg. E. Rabald und D. Behrens, Band 2, Physikalische Eigenschaften.
- (9) *Meier, K.* (1978): «Sekundärkosten» von Energiesparmassnahmen. In: Aussenwände – Konstruktive und bauphysikalische Probleme. SIA-Dokumentationsreihe Nr. 25. 180 S.
- (10) *Bariska, M.* (1981): Autographie der Vorlesung «Holz im Bauwesen I», Zürich.
- (11) *Goethe, J. W.* (1831): Über die Spiraltendenz der Vegetation. Gedenkausgabe der Werke, Briefe und Gespräche, Hrsg. E. Beutler, Band 17, Artemis-Verlag, Zürich. 153 S.
- (12) *Jüngling, H., Seybold, S.* (1977): Lexikon der Pflanzen. Lexikographisches Institut, München. 352 S.
- (13) *Sporne, K.* (1974): The Morphology of Angiosperms. Hutchinson University Library, London. 207 S.
- (14) *Wagenführ, R., Scheiber, Chr.* (1974): Holzatlas. VEB Fachbuchverlag, Leipzig. 690 S.
- (15) *Begemann, H. F.* (1963–1969): Lexikon der Nutzhölzer, Band 1–5. Verlag und Fachbuchdienst Emmi Kittel, 8905 Mering. 2718 S.
- (16) *Kollmann, F.* (1951): Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, 1. Band., Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg, und J. F. Bergmann, München. 1050 S.
- (17) *Meyer, H.* (1933): Buch der Holznamen. Verlag M. & H. Schaper, Hannover. 564 S.
- (18) *Bärner, J.* (1961–1962): Die Nutzhölzer der Welt. Band 1–4. Verlag J. Cramer, Weinheim. 3466 S.
- (19) *Dahms, K.-G.* (1985): Probleme der Nomenklatur als internationales Handelshemmnis im südamerikanischen Holzexport. Holz-Zentralblatt III: 681–682.
- (20) *Holz-Lexikon* (1972): Hrsg. E. König, 2. Auflage, Band 1. DRW-Verlags-GmbH, Stuttgart. 634 S.
- (21) *Kučera, L. J.* (1984): Waldsterben – Holzeigenschaften – Holzqualität. SAH Bulletin 12: 3–28.
- (22) *Vorreiter, L.* (1966): Porenräume und innere Oberflächen der Hölzer. Holzforschung 20: 73–80.