

Untersuchungen zur Korrelation ausgewählter Holzeigenschaften untereinander und mit der Rohdichte unter Verwendung von 103 Holzarten

PETER NIEMZ und WALTER SONDEREGGER

Keywords: Wood properties; density; strength; swelling. FDK 81

Abstract: The correlation of several properties published in the technical literature and the influence of their structure was investigated for 103 wood species. A good correlation exists between the density and the physical-mechanical properties. To illustrate the investigation the significant divergency of some wood species from the general tendency (for example impact strength or swelling) is described and attributed to particular wood structures.

Abstract: An 103 Holzarten wurde die Korrelation von in der Fachliteratur publizierten Eigenschaften untereinander und in Abhängigkeit von der Struktur untersucht. Eine gute Korrelation besteht zwischen der Rohdichte und den physikalisch-mechanischen Eigenschaften. Exemplarisch werden extreme Abweichungen einzelner Holzarten vom allgemeinen Trend (z.B. bei der Bruchschlagarbeit und im Quellverhalten) aufgezeigt und auf besondere Holzstrukturen zurückgeführt.

1. Einleitung

Holz als Werkstoff besitzt sehr unterschiedliche Eigenschaften, sowohl im physikalischen als auch im mechanischen Bereich. Dies ist einerseits auf die verschiedenen Holzarten zurückzuführen (es sind heute etwa 20 000 Baumarten bekannt), andererseits bestehen auch grosse Eigenschaftsschwankungen innerhalb einer Holzart in Abhängigkeit von der Herkunft, der genetischen Variabilität und der Lage im Baum. Dabei hat die Dichte einen dominierenden Einfluss auf verschiedene Holzeigenschaften (Festigkeit, Härte, Quellung, Wärmeleitfähigkeit u.a.). Weitere Einflussgrößen sind dabei die Faserlänge (z.B. auf die Druckfestigkeit; WIMMER 1991), die Holzstrahlen (z.B. auf die Festigkeit quer zur Faser; BURGERT 2000), die Holzinhaltstoffe (z.B. auf Gleichgewichtsfeuchte und Quellung), der Ligninanteil (z.B. auf das Verhältnis Zugfestigkeit zu Druckfestigkeit und auf das Quellverhalten), der Mikrofibrillenwinkel innerhalb der Zellwand (z.B. auf die Festigkeit und das Quell- und Schwindverhalten; MEGRAW *et al.* 1998), die Wandstärke und radiale Tracheidenseitenlänge des Spätholzes (z.B. auf die Quellungs- und Festigkeitseigenschaften; WIMMER 1991), um nur einige zu nennen.

Weiter haben sich verschiedene Holzarten im Rahmen des Evolutionsprozesses sehr gut den Umweltbedingungen angepasst und haben z.B. eine extrem hohe Witterungsbeständigkeit (Redwood, Alerce), andere haben eine – bezogen auf die Dichte – vergleichbar sehr hohe Festigkeit, Elastizität oder auch Bruchzähigkeit (Eibe). Durch Analyse dieser Eigenschaften, die auf bestimmten Bauprinzipien beruhen, können wesentliche Ansatzpunkte für eine gezielte Werkstoffentwicklung gezogen werden.

Die Holzeigenschaften und auch deren gegenseitige Abhängigkeiten sind schon vielfach untersucht worden, hauptsächlich bei den am meisten gehandelten Holzarten. Die Literaturangaben konnten deshalb nur sehr selektiv vorgenommen werden, um den Rahmen der Arbeit nicht zu sprengen. Oft werden dabei jedoch nur die Eigenschaften innerhalb einer Holzart oder unter verwandten Arten miteinander verglichen, da die Unterschiede zwischen den Holzarten zum Teil erheblich sind.

Im Rahmen dieses Aufsatzes sollen Eigenschaftsbeziehungen, die für Holz generell gelten, von verschiedenen Holzarten miteinander verglichen werden. Dazu werden für ausgewählte mechanisch-physikalische Eigenschaften wichtige, in

der Literatur vorhandene Kennwerte hinsichtlich ihrer Korrelation mit der Rohdichte und auch die Korrelation der Eigenschaften untereinander getestet. Dadurch sollen Grundlagen für eine komplexe Struktur-Eigenschaftsanalyse geschaffen werden.

2. Material und Methodik

Unter Verwendung der Mittelwerte mehrerer mechanischer und physikalischer Eigenschaften je Holzart von insgesamt 103 Holzarten wurden verschiedene Berechnungen zwecks Bestimmung der Korrelation der Kennwerte mit der Rohdichte und der Korrelation der Eigenschaften untereinander (Festigkeitseigenschaften, E-Modul-Festigkeit, Dichte bei verschiedener Feuchte) durchgeführt. Den Berechnungen wurden die Daten von SELL (1989) zugrunde gelegt.

Dabei muss vorangestellt werden, dass eine Vielzahl anderer, zum Teil oben erwähnter Parameter die Kennwerte beeinflussen (z.B. Inhaltstoffe bei der Quellung, Faserlänge bei mechanischen Eigenschaften). Auch innerhalb einer Holzart variieren die Eigenschaften stark.

In *Tabelle 1* sind die verwendeten Holzarten aufgelistet. Die folgenden Eigenschaften wurden in die Auswertung einbezogen:

- Druckfestigkeit parallel zur Faser
- Zugfestigkeit parallel zur Faser
- Bruchschlagarbeit
- Härte nach Brinell
- Darrdichte
- Rohdichte bei 15% Holzfeuchte
- E-Modul
- Biegefestigkeit
- Scherfestigkeit
- Differentielles Schwindmass (radial, tangential)
- Wärmeleitzahl

3. Ergebnisse

Die *Tabellen 2* und *3* sowie die *Abbildungen 1* bis *10* zeigen ausgewählte Versuchsergebnisse. *Abbildung 1* zeigt die Abhängigkeit der Rohdichte von der Darrdichte. Die Korrelation beträgt annähernd 1,0.

Recht hoch ist die Korrelation der Rohdichte mit den mechanischen Eigenschaften: Scherfestigkeit, Brinellhärte, Bruch-

Tabelle 1: Deutscher (englischer) und wissenschaftlicher Name der verwendeten Holzarten.

Table 1: German (English) and scientific name of the studied wood species.

Deutscher/Englischer Name	Wissenschaftlicher Name	Deutscher/Englischer Name	Wissenschaftlicher Name
Nadelhölzer:			
Arve	<i>Pinus cembra</i> L.	Greenheart	<i>Ocotea rodiaei</i> Mez
Douglasie	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco	Hainbuche	<i>Carpinus betulus</i> L.
Eibe	<i>Taxus</i> spp.	Hickory	<i>Carya</i> spp.
Fichte	<i>Picea abies</i> Karst.	Ilomba	<i>Pycnanthus angolensis</i> Exell
Hemlock	<i>Tsuga heterophylla</i> Sarg.	Iroko	<i>Milicia</i> spp.
Kiefer	<i>Pinus sylvestris</i> L.	Keruing	<i>Dipterocarpus</i> spp.
Lärche	<i>Larix</i> spp.	Kirschbaum	<i>Prunus avium</i> L.
Radiata-Kiefer	<i>Pinus radiata</i> D. Don	Kosipo	<i>Entandrophragma candollei</i> Harms
Redwood	<i>Sequoia sempervirens</i> Endl.	Kotibe	<i>Nesogordonia papaverifera</i> Capuron
Schwarzkiefer	<i>Pinus nigra</i> Arnold	Koto	<i>Pterygota</i> spp.
Southern pine	<i>Pinus</i> spp.	Rotes Lauan	<i>Shorea</i> spp.
Tanne	<i>Abies alba</i> Mill.	Weisses Lauan	<i>Shorea</i> spp., <i>Parashorea</i> spp., <i>Pentacme</i> spp.
Western red cedar	<i>Thuja plicata</i> D. Don	Limba	<i>Terminalia superba</i> Engl. & Diels
Weymouthkiefer	<i>Pinus strobus</i> L.	Linde	<i>Tilia</i> spp.
		Longhi	<i>Gambeya</i> spp.
Laubhölzer:		Echtes Mahagoni	<i>Swietenia macrophylla</i> King
Abachi	<i>Triplochiton scleroxylon</i> K. Schum.	Khaya-Mahagoni	<i>Khaya</i> spp.
Abura	<i>Hallea</i> sp.	Sapelli-Mahagoni	<i>Entandrophragma cylindricum</i> Sprague
Afrormosia	<i>Pericopsis elata</i> van Meuwen	Sipo-Mahagoni	<i>Entandrophragma utile</i> Sprague
Afzelia	<i>Afzelia</i> spp.	Makore	<i>Tieghemella heckelii</i> Pierre
Agba	<i>Gossweilerodendron balsamiferum</i> Harms	Mansonia	<i>Mansonia altissima</i> A. Chev.
Ahorn	<i>Acer</i> spp.	Dunkelrotes Meranti	<i>Shorea</i> spp.
Andiroba	<i>Carapa</i> spp.	Hellrotes Meranti	<i>Shorea</i> spp.
Aningre	<i>Aningeria</i> spp.	Merbau	<i>Intsia</i> spp.
Antiaris	<i>Antiaris</i> spp.	Movingui	<i>Distemonanthus benthamianus</i> Baill.
Aspe	<i>Populus tremula</i> L.	Muhuhu	<i>Brachylaena hutchinsii</i> Hutch.
Assacu	<i>Hura crepitans</i> L.	Mutenye	<i>Guiburtia arnoldiana</i> J. Léonard
Avodire	<i>Turraeanthus africanus</i> Pellegr.	Niangon	<i>Heritiera</i> spp.
Azobe	<i>Lophira alata</i> Banks ex Gaertn. f.	Amerikanischer Nussbaum	<i>Juglans nigra</i> L.
Baboen	<i>Virola</i> spp.	Europäischer Nussbaum	<i>Juglans regia</i> L.
Balsa	<i>Ochroma</i> spp.	Okoume	<i>Aucoumea klaineana</i> Pierre
Bangkirai	<i>Shorea</i> spp.	Onzabili	<i>Antrocaryon</i> spp.
Bilinga	<i>Nauclea diderichii</i> Merrill	Paldao	<i>Dracontomelum</i> spp.
Birke	<i>Betula verrucosa</i> Ehrh.	Ostindischer Palisander	<i>Dalbergia latifolia</i> Roxb.
Birnbaum	<i>Pyrus communis</i> L.	Rio-Palisander	<i>Dalbergia nigra</i> Fr. All.
Bubinga	<i>Guibourtia</i> spp.	Pappel	<i>Populus</i> spp.
Buche	<i>Fagus sylvatica</i> L.	Platane	<i>Platanus acerifolia</i> Willd.
Buchsbaum	<i>Buxus sempervirens</i> L.	Pockholz	<i>Guaiaicum</i> spp.
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i> Gaertn.	Quaruba	<i>Vochysia</i> spp.
Cordia	<i>Cordia</i> spp.	Ramin	<i>Gonystylus bancanus</i> Baill.
Dabema	<i>Piptadeniastrum africanum</i> Brenan	Robinie	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.
Dibetou	<i>Lovoa</i> spp.	Bahia-Rosenholz	<i>Dalbergia decipularis</i> Rizz & Matt.
Douka	<i>Tieghemella africana</i> A. Chev.	Roskastanie	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.
Ebenholz	<i>Diospyros</i> spp.	Sen	<i>Kalopanax pictus</i> Nakai
Edelkastanie	<i>Castanea sativa</i> Mill.	Tali	<i>Erythrophleum</i> spp.
Eiche	<i>Quercus</i> spp.	Tchitola	<i>Oxystigma oxyphyllum</i> J. Léonard
Roteiche	<i>Quercus rubra</i> L.	Teak	<i>Tectona grandis</i> L. f.
Ekaba	<i>Tetraberlinia bifoliolata</i> Hauman	Tiama	<i>Entandrophragma</i> spp.
Erle	<i>Alnus glutinosa</i> Gaertn.	Ulme	<i>Ulmus</i> spp.
Esche	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Weide	<i>Salix</i> spp.
Eyong	<i>Eribroma oblonga</i> Bod.	Wenge	<i>Millettia</i> spp.
Framire	<i>Terminalia ivorensis</i> A. Chev.	Zapatero	<i>Gossypiospermum praecox</i> P. Wils.
		Zingana	<i>Microberlinia</i> spp.

schlagarbeit, Biegefestigkeit und Wärmeleitzahl (Tabelle 2; Abbildungen 2 bis 6). Dies wird nicht zuletzt durch den starken Variationsbereich der Kennwerte beeinflusst (vgl. Minimal- und Maximalwerte in Tabelle 3). So beträgt der Dichteunterschied zwischen der leichtesten (Balsa: $\rho_{15} = 0,165 \text{ g/cm}^3$) und der schwersten Holzart (Pockholz: $\rho_{15} = 1,255 \text{ g/cm}^3$) 760%.

Vergleichsweise geringer ist der Zusammenhang von Rohdichte und Quellung (Abbildung 7). Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die Kennwerte der Quellung stark durch andere Einflussgrößen wie die Holzinhaltstoffe beeinflusst werden. So beträgt z.B. bei annähernd gleicher Dichte bei Redwood die maximale tangentielle Quellung 0,19%/%, bei Fichte 0,32%/%, bei *Pinus radiata* 0,26%/%. Hier ist inner-

halb einer Holzart eine höhere Korrelation mit der Dichte zu erwarten.

Exemplarisch ist der Einfluss anderer Größen auch an den in Abbildung 4 dargestellten Werten für die Rohdichte und die Bruchschlagarbeit ausgewählter Holzarten erkennbar.

So haben Eibe und Robinie deutlich höhere Kennwerte als andere Holzarten bei annähernd gleicher Dichte, Pockholz dagegen einen sehr niederen Kennwert im Vergleich zur hohen Dichte. Die genannten Unterschiede der Quellung und der Bruchschlagarbeit liegen im anatomischen Aufbau und in der chemischen Zusammensetzung (z.B. Inhaltstoffe) begründet. So verweisen WILLEITNER & SCHWAB (1982) sowie KEYLWERTH (1969) auf deutliche Unterschiede in der Gleichgewichtsfeuchte bei ausgewählten tropischen Hölzern, insbesondere

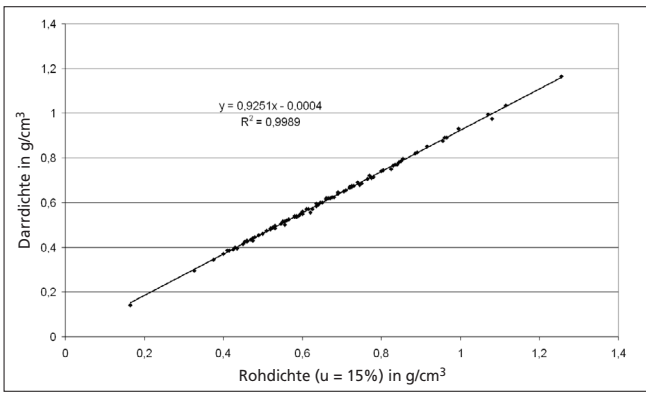


Abbildung 1: Beziehung zwischen Darrdichte und Rohdichte bei 15% Holzfeuchte.

Figure 1: Correlation between dry density and density at 15% moisture content.

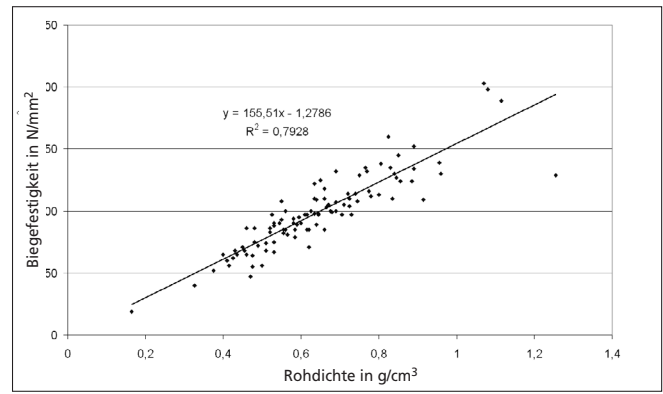


Abbildung 5: Verhältnis zwischen Rohdichte (15% Holzfeuchte) und Biegefestigkeit.

Figure 5: Correlation between density at 15% moisture content and bending strength.

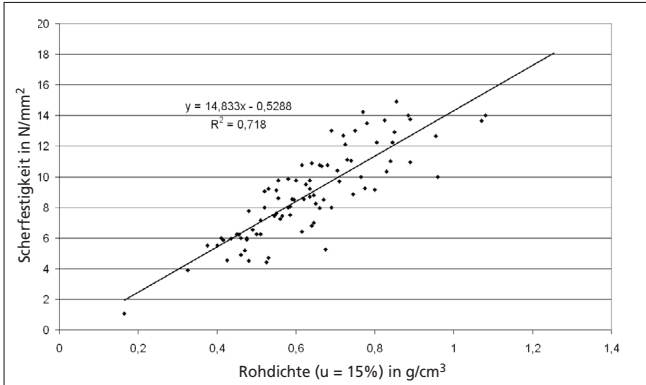


Abbildung 2: Verhältnis zwischen Rohdichte (15% Holzfeuchte) und Scherfestigkeit.

Figure 2: Correlation between density at 15% moisture content and shear strength.

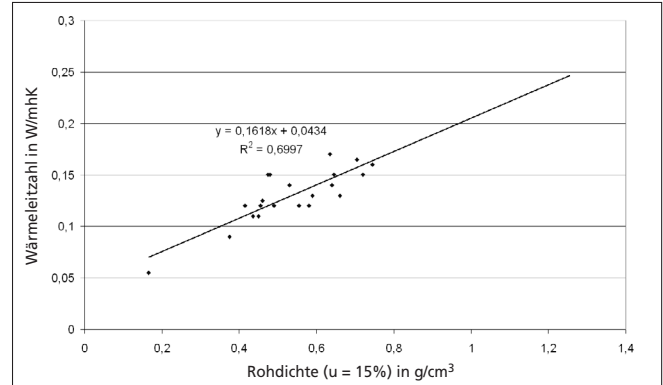


Abbildung 6: Verhältnis zwischen Rohdichte (15% Holzfeuchte) und Wärmeleitfähigkeit.

Figure 6: Correlation between density at 15% moisture content and coefficient of thermal conductivity.

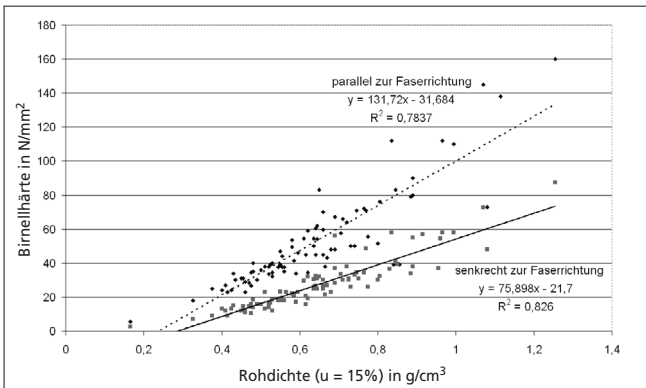


Abbildung 3: Verhältnis zwischen Rohdichte (15% Holzfeuchte) und Brinellhärte.

Figure 3: Correlation between density at 15% moisture content and Brinell hardness.

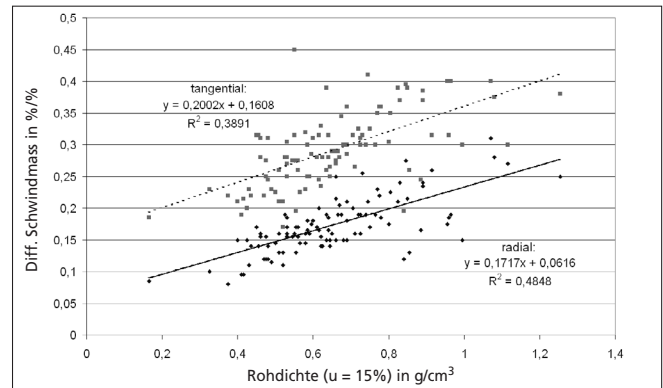


Abbildung 7: Verhältnis zwischen Rohdichte (15% Holzfeuchte) und Quellung senkrecht zur Faserrichtung.

Figure 7: Correlation between density at 15% moisture content and radial and tangential swelling.

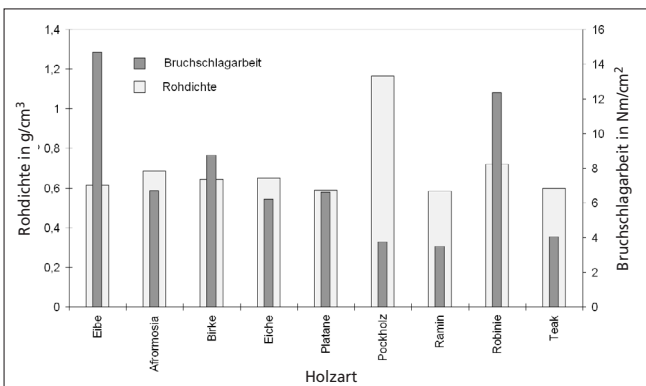


Abbildung 4: Verhältnis zwischen Rohdichte (15% Holzfeuchte) und Bruchschlagarbeit.

Figure 4: Correlation between density at 15% moisture content and impact strength.

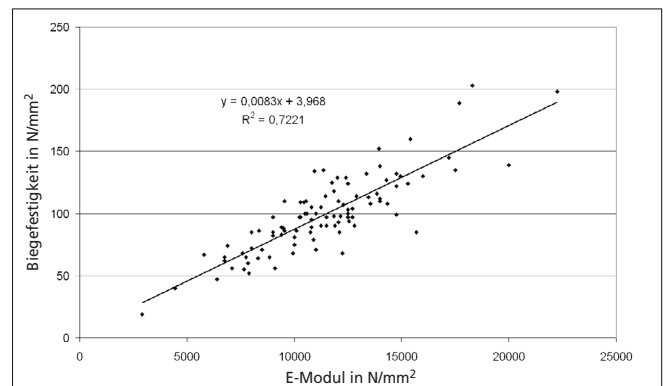


Abbildung 8: Verhältnis zwischen E-Modul und Biegefestigkeit.

Figure 8: Correlation between modulus of elasticity and bending strength.

Tabelle 2: Korrelationskoeffizienten für verschiedene Holzeigenschaften untereinander und für den Einfluss der Rohdichte.

R = Korrelationskoeffizient, n = Anzahl Holzarten.

Table 2: Coefficient of variation between diverse wood properties among each other and of the influence of density.

R = coefficient of correlation, n = number of wood species.

Eigenschaften-Vergleich	n	R	
Rohdichte (15% Holzfeuchte) – Darrdichte	103	0,999	
Rohdichte – Quellung	• radial	101	0,58
	• tangential	101	0,66
Rohdichte – Brinellhärte	• parallel	83	0,88
	• senkrecht	90	0,91
Rohdichte – Scherfestigkeit	87	0,85	
Rohdichte – Wärmeleitzahl	21	0,84	
Rohdichte – Biegefestigkeit	100	0,89	
E-Modul – Biegefestigkeit	100	0,84	
Druckfestigkeit – Zugfestigkeit	72	0,70	
Zugfestigkeit – Biegefestigkeit	72	0,84	

mit starkem Farbkern. KEYLWERTH (1969) führte umfangreiche Untersuchungen zur Gleichgewichtsfeuchte und zum Quellungsverhalten von 124 Holzarten durch. Er verweist auf extreme Unterschiede im Quellungsverhalten. Dabei ist die Quellung einiger Holzarten wesentlich geringer, als es ihrer Rohdichte entspricht. Dies begründet er einerseits mit einem geringeren hygroskopischen Verhalten, andererseits mit einer unterschiedlichen Absperrwirkung in Zellwand und Gefüge.

Bezüglich der Korrelation ausgewählter Eigenschaften untereinander ergibt sich beim Vergleich der Zug- mit der Druckfestigkeit ein relativ niedriger Korrelationskoeffizient gegenüber den Vergleichen der Zug- mit der Biegefestigkeit und der Biegefestigkeit mit dem E-Modul (Tabelle 2; Abbildungen 8 bis 10). Dies ist neben den unterschiedlichen Lignin- bzw. Celluloseanteilen im Holz, die je nach Holzart und innerhalb einer Holzart (Zug- und Druckzonen) stark variieren, auch auf anatomische Merkmale zurückzuführen. So hat Roteiche mit 21,8% im Mittel einen sehr geringen Ligninanteil (WAGENFÜHR 1996), was die niedere Druckfestigkeit im Verhältnis zur Zugfestigkeit erklärt. Die niedere Zugfestigkeit im Vergleich zur Zugfestigkeit bei Antiaris ist hingegen auf den

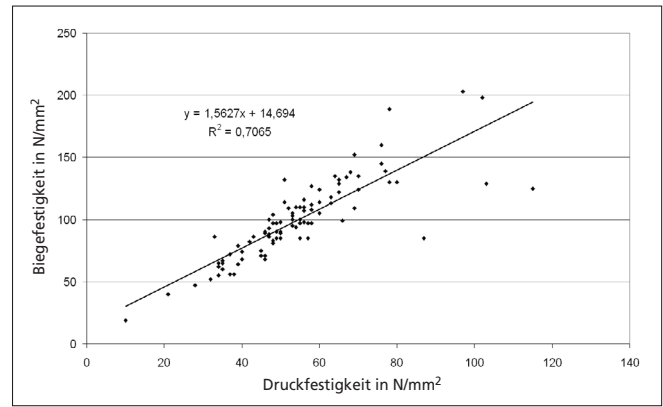


Abbildung 9: Verhältnis zwischen E-Modul und Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung.

Figure 9: Correlation between modulus of elasticity and tensile strength parallel to the grain.

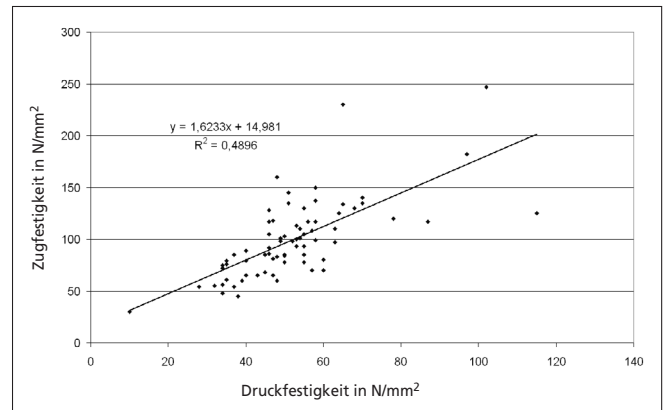


Abbildung 10: Verhältnis zwischen Zugfestigkeit und Druckfestigkeit.

Figure 10: Correlation between tensile strength and compression strength.

starken Wechseldrehwuchs und die dadurch bedingte Abweichung der Fasern von der Längsrichtung zurückzuführen (WAGENFÜHR 1996).

Für das Verhältnis Zug-/Druckfestigkeit ergibt sich ein Mittelwert aller untersuchten Holzarten von 1,9:1. Das liegt ziemlich genau bei dem oft zitierten Verhältnis von 2:1 (BOSSHARD 1984). Wie erheblich jedoch einzelne Holzarten davon abweichen, zeigen in Tabelle 3 die Maximal- (3,3) und Minimalwerte (1,18).

Eigenschaften	Masseinheit	n	Maximalwert	Minimalwert	Mittelwert
Rohdichte (u = 15%)	g/cm ³	103	1,255	0,165	
Druckfestigkeit parallel	N/mm ²	99	115	10	
Zugfestigkeit parallel	N/mm ²	72	247	30	
Verhältnis Zug-/Druckfestigkeit	–	72	3,3 (Roteiche)	1,18 (Antiaris)	1,9
Biegefestigkeit	N/mm ²	100	203	19	
E-Modul parallel	N/mm ²	100	22 250	2900	
Scherfestigkeit	N/mm ²	87	14,9	1,05	
Brinellhärte	• parallel	83	160	5,5	
	• senkrecht	90	87,5	2,5	
Bruchschlagarbeit	Nm/cm ²	89	14,7	0,3	
Wärmeleitzahl	W/mhK	21	0,17	0,055	
Differentielles					
Schwindmass	• radial	%/%	101	0,31	0,08
	• tangential	%/%	101	0,47	0,17
	• tangential/radial	–	101	2,75 (Western red cedar)	1,1 (Ebenholz)

Tabelle 3: Zusammenstellung der Extremwerte der Holzeigenschaften und ausgewählter Verhältniszahlen für die verwendeten Holzarten; n = Anzahl Holzarten.

Table 3: Compilation of the extreme values of the wood properties and the ratio of selected properties for all investigated wood species; n = number of wood species.

Analoges gilt für das Verhältnis der Quellung tangential/radial (Maximalwert 2,75; Minimalwert 1,1). Der Mittelwert über alle Holzarten liegt bei 1,7; beim Nadelholz mit einem Wert von 1,93 tendenziell jedoch etwas höher als beim Laubholz (1,65). Beim Nadelholz sind nach BOSSHARD (1984) zusätzlich starke Unterschiede zwischen Früh- (2,0 bis 2,8) und Spätholz (1,1 bis 1,4) zu erkennen. So ist die hohe Verhältniszahl von 2,75 bei Western red cedar hauptsächlich auf den geringen Spätholzanteil zurückzuführen. Dass die absolute Schwindung mit zunehmender Dichte zunimmt, jedoch das Verhältnis zwischen tangentialer und radialer Schwindung abnimmt (BOSSHARD 1984), zeigt deutlich die Verhältniszahl von 1,1 bei Ebenholz, einem der schwersten Hölzer der Welt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch detaillierte Analyse der Wechselwirkung zwischen dem anatomischen Aufbau und der chemischen Zusammensetzung mit ausgewählten physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Holzes durchaus neue Erkenntnisse zur Optimierung der Strukturen von Werkstoffen gezogen werden können. Da in der Fachliteratur aber meist eine relativ grosse Variationsbreite der strukturellen Parameter und auch der Eigenschaften angegeben ist, lassen sich die meisten Angaben nur bedingt verwenden. Hierzu müssen weitere Detailuntersuchungen erfolgen, wobei innerhalb einer Holzart eine relativ grosse Variationsbreite (z.B. verschiedene Standorte) einbezogen werden sollte.

Zusammenfassung

Aufbauend auf in der Fachliteratur publizierten Eigenschaften von insgesamt 103 Holzarten (SELL 1989) wurden verschiedene Korrelationen der Holzeigenschaften untereinander berechnet sowie einige Hinweise auf den Einfluss struktureller und chemischer Besonderheiten gegeben. Unter Berücksichtigung aller Holzarten ergibt sich wie erwartet eine gute Korrelation zwischen der Rohdichte und den physikalisch-mechanischen Eigenschaften. Insgesamt wird aber deutlich, dass bei einigen Holzarten Abweichungen vom allgemeinen Trend auftreten. So haben z.B. Eibe und Robinie eine deutlich höhere Bruchschlagarbeit als andere Holzarten bei annähernd gleicher Dichte. Ähnliches gilt auch für das Verhältnis der Quellung tangential/radial, das im Mittel aller Holzarten bei einem Wert von 1,7 liegt, jedoch für Western red cedar 2,75 und für Ebenholz 1,1 beträgt. Eine gezielte Analyse der vom Mittel abweichenden Kennwerte und der damit zusammenhängenden besonderen Holzstrukturen könnte wesentliche Informationen für die gezielte Nutzung solcher Eigenschaften und ihrer Bauprinzipien ergeben.

Summary

Analysis of the correlation between selected wood properties among each other and the density of 103 wood species

Several correlations of the properties of 103 wood species published in the technical literature (SELL 1989) were calculated and the influence of their structure was determined. In all investigated wood species a good correlation exists between the density and the physical-mechanical properties. Overall, however, some wood species diverge significantly from the general tendency. Yew and black locust, for example, have a significantly higher impact strength than other wood species with approximately equal densities. The average tangential/radial

ratio of swelling for all investigated wood species is 1.7 but individual ratios range from 1.1 (ebony) to 2.75 (western red cedar). A specific analysis of the differing values and the particular wood structures involved may give essential information for the specific use of such properties.

Résumé

Recherches sur les corrélations entre les propriétés du bois et la densité brute sur la base de 103 essences

En se basant sur les propriétés de 103 essences publiées dans la littérature spécialisée (SELL 1989), différentes corrélations entre les propriétés du bois ont été calculées. Des indications sont données quant à l'influence de quelques particularités chimiques et de la structure du bois. Si l'on considère toute les essences retenues, il existe, comme supposé, une bonne corrélation entre la densité brute et les propriétés physico-mécaniques du bois. Il est démontré que certaines essences divergent clairement de la tendance générale. L'if et le robinier, par exemple, ont une résistance à la flexion au choc sensiblement plus élevée que d'autres essences ayant une densité pratiquement identique. De même pour le rapport gonflement tangential/radial, qui pour toutes les essences est en moyenne de 1,7, ce rapport est de 2,75 pour le thuja géant et de 1,1 pour l'ébène. Une analyse des valeurs divergentes et des structures du bois particulières qui en résultent pourrait fournir des informations essentielles pour l'utilisation spécifique de ces principes structuraux.

Traduction: STÉPHANE CROPTIER

Literatur

- BOSSHARD, H.H. 1984: Holzkunde. Band 2. 2. Auflage. Birkhäuser Verlag, Basel, 312 S.
- BURGERT, I. 2000: Die mechanische Bedeutung der Holzstrahlen im lebenden Baum. Dissertation, Universität Hamburg, 173 S.
- KEYLWERTH, R. 1969: Praktische Untersuchungen zum Holzfeuchtigkeits-Gleichgewicht. Holz als Roh- und Werkstoff 27: 286-290.
- MEGRAW, R.A.; LEAF, G.; BREMER, D. 1998: Longitudinal shrinkage and microfibril angle in loblolly pine. In: B.G. Butterfield (editor): Microfibril Angle in Wood. University of Canterbury, Christchurch (New Zealand), S. 27-61.
- SELL, J. 1989: Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten. Baufachverlag, Zürich, 87 S.
- WAGENFÜHR, R. 1996: Holzatlas. 4. Auflage. Fachbuchverlag, Leipzig, 688 S.
- WILLEITNER, H.; SCHWAB, E. 1982: Holz-Aussenverwendung im Hochbau. Verlagsanstalt Alexander Koch, Stuttgart, 148 S.
- WIMMER, R. 1991: Beziehungen zwischen Holzstruktur und Holzeigenschaften bei Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) im Nahbereich eines Fluoremittenten. Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien, 227 S.

Autoren

Prof. Dr. PETER NIEMZ und Dipl. Forsting. WALTER SONDEREGGER, ETH Zürich, Professur Holzwissenschaften, ETH Zentrum, 8092 Zürich. E-Mail: niemz@fowi.ethz.ch; sonderegger@fowi.ethz.ch.