

Inhalt

■	Vorwort	5
■	Datenbank für Kennwerte zum Feuchte- und Wärmetransport in Holz und Holzwerkstoffen	10
1	Einführung	22
2	Geschichte der Physik des Holzes	31
3	Übersicht zu physikalischen Eigenschaften des Holzes und wichtigen Einflussfaktoren	40
4	Struktur und Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen ...	43
4.1	Vorbemerkungen	43
4.2	Einteilung von Holz und Holzwerkstoffen	44
4.2.1	Holz	44
4.2.2	Holzwerkstoffe	45
4.2.2.1	Werkstoffe auf Vollholzbasis	46
4.2.2.2	Lagenholz/Furnierwerkstoffe	47
4.2.2.3	Spanwerkstoffe	48
4.2.2.4	Faserwerkstoffe	48
4.2.2.5	Verbundplatten	49
4.3	Stofflich-struktureller Aufbau von Holz und Holzwerkstoffen	49
4.3.1	Holz	50
4.3.1.1	Chemischer Aufbau	50
4.3.1.2	Struktureller Aufbau	50
4.3.2	Holzwerkstoffe	53
4.3.2.1	Werkstoffe auf Vollholzbasis	53
4.3.2.2	Werkstoffe auf Furnierbasis	53
4.3.2.3	Werkstoffe auf Spanbasis	55

	4.3.2.4	Werkstoffe auf Faserbasis	57
	4.3.2.5	Verbundwerkstoffe	59
	4.3.2.6	Wood Plastic Composites	60
4.4		Wechselwirkung zwischen Struktur und Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen	61
	4.4.1	Holz	61
	4.4.2	Holzwerkstoffe	63
	4.4.2.1	Brettschichtholz/lamelliertes Holz	63
	4.4.2.2	Lagenholz/Massivholzplatten	63
	4.4.2.3	Spanplatten	65
	4.4.2.4	Faserplatten	67
	4.4.2.5	Verbundplatten	69

5 Verhalten von Holz und Holzwerkstoffen gegenüber Feuchte .. 73

5.1		Kenngrößen der Holzfeuchte	73
5.2		Grundlagen der Feuchteaufnahme und -abgabe	74
	5.2.1	Holz als kapillarporöser Stoff	74
	5.2.2	Flüssigkeitstransport in kapillarporösen Systemen, Gas- und Wasserpermeabilität	79
	5.2.2.1	Flüssigkeitstransport in senkrechten Kapillaren ...	79
	5.2.2.2	Flüssigkeitstransport in Holz	81
	5.2.2.3	Messung der Gas- und Flüssigkeitspermeabilität ...	83
	5.2.2.4	Diffusion	84
5.3		Feuchteaufnahme und -abgabe von Holz	89
	5.3.1	Grenzbereiche des Systems Holz-Wasser	89
	5.3.2	Feuchteaufnahme durch Sorption	90
	5.3.2.1	Phasen der Sorption	90
	5.3.2.2	Fasersättigungsbereich	93
	5.3.2.3	Modelle zur Beschreibung des Sorptionsverhaltens (Popper & Niemz, 2009) (Hering, 2011)	94
	5.3.2.4	Sorptionsisothermen ausgewählter Holzarten und Werkstoffe	95
	5.3.3	Maximaler Feuchtegehalt von Holz	100
5.4		Quell- und Schwindverhalten von Holz und Holzwerkstoffen	104
	5.4.1	Quell- und Schwindverhalten von Holz	104
	5.4.1.1	Grundlagen	104
	5.4.1.2	Kenngrößen	111
	5.4.2	Quell- und Schwindverhalten von Holzwerkstoffen	114
	5.4.3	Auswirkungen des Quell- und Schwindverhaltens von Holz und Holzwerkstoffen	115
	5.4.3.1	Holz	115
	5.4.3.2	Holzwerkstoffe	117
5.5		Holzphysikalische Probleme der Trocknung von Schnittholz	118
	5.5.1	Physikalische Vorgänge beim Feuchtetransport	118
	5.5.2	Spannungen und Rissbildung	119
	5.5.3	Zellkollaps	123

5.6	Verfahren zur Bestimmung des Feuchtegehalts von Holz und Holzwerkstoffen	123
5.6.1	Übersicht	123
5.6.2	Darrmethode	126
5.6.3	Extraktions- oder Destillationsverfahren	127
5.6.4	Widerstandsmessverfahren	128
5.6.5	Dielektrisches Messverfahren	128
5.6.6	Mikrowellen-Verfahren	129
5.6.7	Radiometrische Verfahren und sonstige Verfahren (Kernspintomographie, Neutronen, Röntgen)	129
5.6.8	Spektrometrisches Verfahren	130
5.6.9	Chemisches Verfahren	130
5.6.10	Hygroskopisches Verfahren	130
5.7	Feuchteverteilung im Holz und Ausgleichsfeuchte von Holz im praktischen Gebrauch	131
5.7.1	Feuchteverteilung im lebenden Stamm	131
5.7.2	Ausgleichsfeuchte von Holz im praktischen Gebrauch und Einfluss der Bauteilgeometrie	132
5.8	Bedeutung der Holzfeuchte	136

6 Dichte von Holz und Holzwerkstoffen 142

6.1	Kenngrößen der Dichte	142
6.1.1	Rohdichte	143
6.1.2	Darrdichte (Darr-Rohdichte)	144
6.1.3	Raumdichtezahl	144
6.1.4	Reindichte	145
6.1.5	Porenanteil (Hohlraumanteil)	145
6.1.6	Streudichte/Schüttdichte	146
6.1.7	Flächenbezogene Masse	147
6.1.8	Rohdichteprofil senkrecht zur Plattenebene	147
6.2	Einflüsse auf die Dichte und die Dichteverteilung von Holz und Holzwerkstoffen	148
6.2.1	Holz	148
6.2.1.1	Einfluss der Holzart	148
6.2.1.2	Einfluss von Wuchs- und Standortbedingungen sowie der soziologischen Stellung des Baumes im Bestand	149
6.2.1.3	Einfluss struktureller Parameter	150
6.2.2	Span- und Faserplatten	154
6.3	Verfahren zur Dichtebestimmung	155
6.3.1	Konventionelle Methoden	155
6.3.2	Dichtebestimmung mittels elektromagnetischer Wellen und anderen Verfahren	157
6.3.3	Bestimmung des Dichteprofiles an Holzwerkstoffen	161
6.3.3.1	Fräsmethode	161
6.3.3.2	Bohrmethode	161
6.3.3.3	Hobelmethode	162

6.3.3.4	Röntgenmethode	162
6.3.3.5	Messung von Dichteprofilen mittels Gamma- oder Röntgenstrahlen	162
6.3.4	Bestimmung der Streu- und Schüttdichte von Partikeln	163
6.3.5	Bestimmung des Porenanteiles und der Porengrößenverteilung in Holzwerkstoffen	163
6.3.5.1	Quecksilberdruckporosimetrie	163
6.3.5.2	Gasadsorption	164
6.3.5.3	Sonstige Verfahren	164
6.4	Einfluss der Dichte auf die Eigenschaften des Holzes	164

7 Thermische Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen 168

7.1	Wärmeleitfähigkeit	168
7.2	Spezifische Wärmekapazität	172
7.3	Temperaturleitfähigkeit	174
7.4	Wärmeausdehnung	175
7.5	Brandverhalten	177
7.5.1	Grundlagen	177
7.5.2	Brandverhalten	181
7.6	Einfluss der Temperatur auf die Eigenschaften des Holzes	186
7.6.1	Kurzzeitige Temperatureinwirkungen	186
7.6.2	Langzeitige Temperatureinwirkung	189
7.7	Nutzung thermischer Eigenschaften des Holzes zur Qualitätskontrolle	190

8 Elektrische Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen 195

8.1	Elektrischer Widerstand und Leitfähigkeit	195
8.1.1	Kenngößen	195
8.1.2	Einflüsse auf den elektrischen Widerstand von Holz	196
8.1.3	Prüfverfahren und praktische Nutzung	199
8.2	Dielektrische Eigenschaften	200
8.2.1	Kenngößen	200
8.2.2	Einflüsse auf die Dielektrizitätskonstante von Holz	200
8.2.3	Prüfverfahren und praktische Nutzung	202
8.3	Piezoelektrische Eigenschaften	203
8.3.1	Kenngößen	203
8.3.2	Einflüsse auf den Piezomodul von Holz	203
8.3.3	Prüfverfahren und praktische Nutzung	204
8.4	Magnetische Eigenschaften	205
8.5	Elektrostatische Aufladungen	205

9 Akustische Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen 208

9.1	Übersicht	208
9.2	Arten und Ausbreitungsformen von Wellen	208
9.3	Schallgeschwindigkeit	209
9.3.1	Kenngößen	209

9.3.2	Weitere Kenngrößen	213
9.3.3	Einflüsse auf die Schallgeschwindigkeit	215
9.3.4	Ausgewählte Gerätesysteme	217
9.4	Schalldämpfung oder Schallabsorption	219
9.5	Schalldämmung	220
9.6	Schallemission	220
9.6.1	Kenngrößen	220
9.6.2	Einflüsse auf die Schallemission und praktische Nutzung der Schallemissionsanalyse	222
9.6.3	Messsysteme zur Schallemissionsanalyse	227
9.7	Eigenfrequenz und Modalanalyse	230
9.7.1	Bestimmung des Zug-/Druck-Elastizitätsmoduls	230
9.7.2	Bestimmung des Biege-Elastizitätsmoduls	231
9.7.3	Bestimmung des Torsionsmoduls	232

10 Reibungseigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen 237

11 Optische Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen 241

11.1	Farbe	241
11.1.1	Kennwerte der Farbe	241
11.1.2	Farbänderung	243
11.1.2.1	Wirkung von transparenten Beschichtungen	243
11.1.2.2	Alterung in Innenräumen	243
11.1.2.3	Farbänderung bei Freibewitterung	246
11.2	Sonstige optische Eigenschaften (Tracheideffekt)	246
11.3	Spektrometrische Eigenschaften	247

12 Korrosionsverhalten und Alterung von Holz und Holzwerkstoffen 254

12.1	Übersicht	254
12.2	Einfluss des Klimas und Bestimmung der Klimabeständigkeit	255
12.2.1	Holz	255
12.2.2	Holzwerkstoffe	259
12.3	Alterung von Holz und Holzwerkstoffen	262
12.3.1	Vollholz	262
12.3.2	Holzwerkstoffe	263
12.4	Einfluss der mechanischen Vorbeanspruchung	264
12.5	Einfluss aggressiver Medien	265
12.5.1	Wasser	266
12.5.2	Chemikalien	266
12.5.3	Metalle	267

13	Elastomechanische und inelastische Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen	270
13.1	Übersicht	270
13.2	Elastische Eigenschaften	270
13.2.1	Elastizitätsgesetz und Spannungs-Dehnungs-Diagramm (Hookesches Gesetz)	270
13.2.1.1	Allgemeine Grundlagen im eindimensionalen Belastungsfall	270
13.2.1.2	Verallgemeinertes Hookesches Gesetz für orthotrope Werkstoffe	273
13.2.2	Zur Orthotropie des Holzes und der Holzwerkstoffe	278
13.2.3	Tensortransformation	282
13.3	Kenngößen und deren Messung	285
13.3.1	Elastizitätsmodul (E-Modul)	285
13.3.1.1	Statische Methoden	285
13.3.1.2	Dynamischer E-Modul aus Durchschallung, Eigenfrequenzmessung (Modalanalyse)	288
13.3.2	Schubmodul	289
13.3.2.1	KenngroÙe	289
13.3.2.2	Prüfung	290
13.3.3	Poissonzahl	291
13.3.3.1	KenngroÙe	291
13.3.3.2	Prüfung	293
13.3.4	Knickung	293
13.3.4.1	Elastische Knickfälle nach Euler	293
13.3.4.2	Nichtelastisches Knicken nach Tetmajer	295
13.4	Materialkennwerte und Einflussfaktoren	295
13.4.1	Übersicht	295
13.4.2	E-Modul und Schubmodul	298
13.4.3	Poissonzahlen	303
13.5	Rheologische Eigenschaften	304
13.5.1	Übersicht	304
13.5.2	Kriechen	306
13.5.2.1	Physikalische Ursachen	306
13.5.2.2	KenngroÙen/Prüfung	309
13.5.2.3	Einflussfaktoren	313
13.5.3	Mechanosorptives Verhalten von Holz	321
13.5.4	Spannungsrelaxation	325
13.5.4.1	Physikalische Ursachen	325
13.5.4.2	KenngroÙen/Prüfung	325
13.5.4.3	Einflussfaktoren und Materialkennwerte	326
13.5.5	Dauerstandfestigkeit	328
13.5.5.1	Physikalische Ursachen	328
13.5.5.2	KenngroÙen/Prüfung	328
13.5.5.3	Einflussfaktoren und Materialkennwerte	328
13.5.6	Rheologische Modelle	330

14	Festigkeitseigenschaften	340
14.1	Übersicht	340
14.2	Wirkung wesentlicher Einflussfaktoren	344
14.2.1	Struktur des Holzes	344
14.2.1.1	Faser-Last-Winkel/Schnitttrichtung	344
14.2.1.2	Rohdichte und Jahrringe	345
14.2.1.3	Astigkeit/Druckholz/Kerbspannungen	347
14.2.2	Klimatische Bedingungen	349
14.2.3	Alterung	353
14.2.4	Vorgeschichte des Holzes	353
14.2.5	Einfluss von Gamma- und Röntgenstrahlung	355
14.2.6	Prüfmethodik	356
14.2.6.1	Belastungsdauer und Belastungsgeschwindigkeit	356
14.2.6.2	Belastungsart	357
14.2.6.3	Probengeometrie	357
14.3	Phänomenologische Beschreibung des Bruchverhaltens von Holz und Holzwerkstoffen	362
14.3.1	Vollholz	362
14.3.2	Holzwerkstoffe	365
14.3.2.1	Brettschichtholz, Massivholzplatten, Sperrholz	365
14.3.2.2	Partikelwerkstoffe	366
14.4	Ausgewählte Grundlagen der Bruchmechanik	369
14.4.1	Übersicht	369
14.4.2	Prüfmethodik	371
14.4.3	Materialkennwerte und Einflussfaktoren	374
14.5	Festigkeitseigenschaften	378
14.5.1	Übersicht	378
14.5.2	Plastische Eigenschaften	381
14.5.3	Zugfestigkeit	383
14.5.4	Druckfestigkeit	386
14.5.5	Biegefestigkeit	388
14.5.6	Scherfestigkeit	392
14.5.7	Torsionsfestigkeit	395
14.5.8	Spaltfestigkeit	396
14.5.9	Nagel- und Schraubenauszieh Widerstand	398
14.5.10	Schlagzähigkeit	399
14.5.11	Dauerschwingfestigkeit	402
14.5.12	Härte und Abnutzungswiderstand	404
14.5.12.1	Härte	404
14.5.12.2	Statische Härteprüfung	405
14.5.12.3	Dynamische Härteprüfung	406
14.5.12.4	Einflussfaktoren und Materialkennwerte	407
14.5.13	Abnutzungswiderstand	408
14.5.13.1	Kenngrößen/Prüfverfahren	409
14.5.13.2	Einflussfaktoren und Materialkennwerte	410

15	Neue innovative Prüfverfahren	419
15.1	Übersicht	419
15.2	Einfluss der Skalierung auf das Messergebnis	420
15.3	Bauteilprüfung und biaxiale Belastung	426
15.4	Messsysteme für Prüfungen im Mikrobereich	427
15.4.1	Dehnungsmessungen	427
15.4.2	In-situ-Testversuche mittels Elektronenmikroskop oder unter Stereomikroskop, Mikro-CT oder im Synchrotron	428
15.4.3	Neutronenradiographie und -tomographie	430
15.4.4	Sylviscan	431
15.5	Messsysteme für Prüfungen im Nanobereich und sonstige Methoden	432
15.5.1	Nanoindentierung	432
15.5.2	Dynamisch-Mechanische Analyse (DMA)	433
15.6	Messsysteme für Messungen im Nanobereich	433
15.6.1	RAMAN-Spektroskopie	434
15.6.2	Rasterkraftmikroskopie	436
16	Spannungen und Verformungen in Holz und Holzwerkstoffen	441
16.1	Wuchsspannungen im Vollholz, Mikrobrüche durch mechanische Belastung	442
16.1.1	Frostrisse	442
16.1.2	Risse infolge von Saugspannungen	442
16.1.3	Wuchsspannungen	442
16.1.4	Verformungen durch Zug- und Druckholz	444
16.1.5	Risse infolge mechanischer Beanspruchung (Sturmschäden)	444
16.2	Spannungen und Verformungen von Holzwerkstoffen (Eigenspannungen)	445
16.2.1	Partikelwerkstoffe	445
16.2.2	Werkstoffe auf Vollholzbasis	447
16.3	Spannungen durch äußere, klimatische Einflüsse	449
17	Nutzung holzphysikalischer Eigenschaften zur On-line-Qualitätskontrolle	452
18	Modellierung von Holz und Holzwerkstoffen: Möglichkeiten und Grenzen	458
18.1	Vorbemerkungen	458
18.2	Holz und Holzwerkstoffe	460
18.2.1	Grenzen der Berechenbarkeit	460
18.2.2	Vollholz	463
18.2.3	Holzwerkstoffe	466
18.2.3.1	Lagenholz (Sperrholz, Brettsperrholz)	466
18.2.3.2	Verbundplatten	469
18.2.3.3	Spanplatten	471