

**Niemz / Sonderegger**

# **Holzphysik**

**Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe**

Mit zahlreichen Bildern und Tabellen

**Fachbuchverlag Leipzig**  
im Carl Hanser Verlag

# Inhalt

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>■</b> | <b>Vorwort</b>   | <b>5</b>  |
| <b>H</b> | <b>Einführung</b>  | <b>18</b> |
| <b>Q</b> | <b>Geschichte der Physik des Holzes</b>  | <b>27</b> |
| <b>Q</b> | <b>Übersicht zu physikalischen Eigenschaften des Holzes und wichtigen Einflussfaktoren</b> | <b>36</b> |
| <b>Q</b> | <b>Struktur und Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen</b>                             | <b>39</b> |
| 4.1      | Vorbemerkungen   | 39        |
| 4.2      | Einteilung von Holz und Holzwerkstoffen  | 40        |
| 4.2.1    | Holz   | 40        |
| 4.2.2    | Holzwerkstoffe   | 41        |
| 4.2.2.1  | Werkstoffe auf Vollholzbasis   | 42        |
| 4.2.2.2  | Lagenholz/Furnierwerkstoffe  | 43        |
| 4.2.2.3  | Spanwerkstoffe   | 44        |
| 4.2.2.4  | Faserwerkstoffe  | 44        |
| 4.2.2.5  | Verbundplatten   | 45        |
| 4.3      | Stofflich-struktureller Aufbau von Holz und Holzwerkstoffen                                | 45        |
| 4.3.1    | Holz   | 46        |
| 4.3.1.1  | Chemischer Aufbau  | 46        |
| 4.3.1.2  | Struktureller Aufbau   | 46        |
| 4.3.2    | Holzwerkstoffe   | 49        |
| 4.3.2.1  | Werkstoffe auf Vollholzbasis   | 49        |
| 4.3.2.2  | Werkstoffe auf Furnierbasis  | 49        |
| 4.3.2.3  | Werkstoffe auf Spanbasis   | 51        |
| 4.3.2.4  | Werkstoffe auf Faserbasis  | 53        |
| 4.3.2.5  | Verbundwerkstoffe  | 55        |
| 4.3.2.6  | Wood Plastic Composites  | 56        |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 4.4     | Wechselwirkung zwischen Struktur und Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen | 57 |
| 4.4.1   | Holz  | 57 |
| 4.4.2   | Holzwerkstoffe  | 59 |
| 4.4.2.1 | Brettschichtholz/lamelliertes Holz  | 59 |
| 4.4.2.2 | Lagenholz/Massivholzplatten   | 59 |
| 4.4.2.3 | Spanplatten   | 61 |
| 4.4.2.4 | Faserplatten  | 63 |
| 4.4.2.5 | Verbundplatten  | 65 |

## **Q Verhalten von Holz und Holzwerkstoffen gegenüber Feuchte 69**

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 5.1     | Kenngößen der Holzfeuchte  | 69  |
| 5.2     | Grundlagen der Feuchteaufnahme und-abgabe  | 70  |
| 5.2.1   | Holz als kapillarporöser Stoff   | 70  |
| 5.2.2   | Flüssigkeitstransport in kapillarporösen Systemen, Gas- und Wasserpermeabilität        | 75  |
| 5.2.2.1 | Flüssigkeitstransport in senkrechten Kapillaren ...                                    | 75  |
| 5.2.2.2 | Flüssigkeitstransport in Holz  | 77  |
| 5.2.2.3 | Messung der Gas- und Flüssigkeitspermeabilität ...                                     | 79  |
| 5.2.2.4 | Diffusion  | 80  |
| 5.3     | Feuchteaufnahme und-abgabe von Holz  | 85  |
| 5.3.1   | Grenzbereiche des Systems Holz-Wasser  | 85  |
| 5.3.2   | Feuchteaufnahme durch Sorption   | 86  |
| 5.3.2.1 | Phasen der Sorption  | 86  |
| 5.3.2.2 | Fasersättigungsbereich   | 89  |
| 5.3.2.3 | Modelle zur Beschreibung des Sorptionsverhaltens (Popper & Niemz, 2009) (Hering, 2011) | 90  |
| 5.3.2.4 | Sorptionsisothermen ausgewählter Holzarten und Werkstoffe                              | 91  |
| 5.3.3   | Maximaler Feuchtegehalt von Holz   | 96  |
| 5.4     | Quell- und Schwindverhalten von Holz und Holzwerkstoffen                               | 100 |
| 5.4.1   | Quell- und Schwindverhalten von Holz   | 100 |
| 5.4.1.1 | Grundlagen   | 100 |
| 5.4.1.2 | Kenngößen  | 107 |
| 5.4.2   | Quell- und Schwindverhalten von Holzwerkstoffen  | 110 |
| 5.4.3   | Auswirkungen des Quell- und Schwindverhaltens von Holz und Holzwerkstoffen             | 111 |
| 5.4.3.1 | Holz   | 111 |
| 5.4.3.2 | Holzwerkstoffe   | 113 |
| 5.5     | Holzphysikalische Probleme der Trocknung von Schnittholz                               | 114 |
| 5.5.1   | Physikalische Vorgänge beim Feuchtetransport   | 114 |
| 5.5.2   | Spannungen und Rissbildung   | 115 |
| 5.5.3   | Zellkollaps  | 119 |
| 5.6     | Verfahren zur Bestimmung des Feuchtegehalts von Holz und Holzwerkstoffen               | 119 |
| 5.6.1   | Übersicht  | 119 |
| 5.6.2   | Darmmethode  | 122 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 5.6.3  | Extraktions-oder Destillationsverfahren  | 123 |
| 5.6.4  | Widerstandsmessverfahren   | 124 |
| 5.6.5  | Dielektrisches Messverfahren   | 124 |
| 5.6.6  | Mikrowellen-Verfahren  | 125 |
| 5.6.7  | Radiometrische Verfahren und sonstige Verfahren<br>(Kernspintomographie, Neutronen, Röntgen) | 125 |
| 5.6.8  | Spektrometrisches Verfahren  | 126 |
| 5.6.9  | Chemisches Verfahren   | 126 |
| 5.6.10 | Hygroskopisches Verfahren  | 126 |
| 5.7    | Feuchteverteilung im Holz und Ausgleichsfeuchte von Holz im<br>praktischen Gebrauch          | 127 |
| 5.7.1  | Feuchteverteilung im lebenden Stamm  | 127 |
| 5.7.2  | Ausgleichsfeuchte von Holz im praktischen Gebrauch und<br>Einfluss der Bauteilgeometrie      | 128 |
| 5.8    | Bedeutung der Holzfeuchte  | 132 |

## **Q Dichte von Holz und Holzwerkstoffen 138**

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 6.1     | Kenngrößen der Dichte  | 138 |
| 6.1.1   | Rohdichte  | 139 |
| 6.1.2   | Darrdichte (Darr-Rohdichte)  | 140 |
| 6.1.3   | Raumdichtezahl   | 140 |
| 6.1.4   | Reindichte   | 141 |
| 6.1.5   | Porenanteil (Hohlraumanteil)   | 141 |
| 6.1.6   | Streudichte/Schüttdichte   | 142 |
| 6.1.7   | Flächenbezogene Masse  | 143 |
| 6.1.8   | Rohdichteprofil senkrecht zur Plattenebene   | 143 |
| 6.2     | Einflüsse auf die Dichte und die Dichteverteilung von Holz und<br>Holzwerkstoffen                      | 144 |
| 6.2.1   | Holz   | 144 |
| 6.2.1.1 | Einfluss der Holzart   | 144 |
| 6.2.1.2 | Einfluss von Wuchs- und Standortbedingungen sowie<br>der soziologischen Stellung des Baumes im Bestand | 145 |
| 6.2.1.3 | Einfluss struktureller Parameter   | 146 |
| 6.2.2   | Span- und Faserplatten   | 150 |
| 6.3     | Verfahren zur Dichtebestimmung   | 151 |
| 6.3.1   | Konventionelle Methoden  | 151 |
| 6.3.2   | Dichtebestimmung mittels elektromagnetischer Wellen<br>und anderen Verfahren                           | 153 |
| 6.3.3   | Bestimmung des Dichteprofiles an Holzwerkstoffen   | 157 |
| 6.3.3.1 | Fräsmethode  | 157 |
| 6.3.3.2 | Bohrmethode  | 157 |
| 6.3.3.3 | Hobelmethode   | 158 |
| 6.3.3.4 | Röntgenmethode   | 158 |
| 6.3.3.5 | Messung von Dichteprofilen mittels Gamma- oder<br>Röntgenstrahlen                                      | 158 |
| 6.3.4   | Bestimmung der Streu- und Schüttdichte von Partikeln   | 159 |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 6.3.5    | Bestimmung des Porenanteiles und der Porengrößenverteilung in Holzwerkstoffen | 159        |
| 6.3.5.1  | Quecksilberdruckporosimetrie  | 159        |
| 6.3.5.2  | Gasadsorption   | 160        |
| 6.3.5.3  | Sonstige Verfahren  | 160        |
| 6.4      | Einfluss der Dichte auf die Eigenschaften des Holzes                          | 160        |
| <b>Q</b> | <b>Thermische Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen</b>                  | <b>164</b> |
| 7.1      | Wärmeleitfähigkeit  | 164        |
| 7.2      | Spezifische Wärmekapazität  | 168        |
| 7.3      | Temperaturleitfähigkeit   | 170        |
| 7.4      | Wärmeausdehnung   | 171        |
| 7.5      | Brandverhalten  | 173        |
| 7.5.1    | Grundlagen  | 173        |
| 7.5.2    | Brandverhalten  | 177        |
| 7.6      | Einfluss der Temperatur auf die Eigenschaften des Holzes                      | 182        |
| 7.6.1    | Kurzzeitige Temperatureinwirkungen  | 182        |
| 7.6.2    | Langzeitige Temperatureinwirkung  | 185        |
| 7.7      | Nutzung thermischer Eigenschaften des Holzes zur Qualitätskontrolle           | 186        |
| <b>Q</b> | <b>Elektrische Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen</b>                 | <b>191</b> |
| 8.1      | Elektrischer Widerstand und Leitfähigkeit                                     | 191        |
| 8.1.1    | Kenngößen   | 191        |
| 8.1.2    | Einflüsse auf den elektrischen Widerstand von Holz                            | 192        |
| 8.1.3    | Prüfverfahren und praktische Nutzung  | 195        |
| 8.2      | Dielektrische Eigenschaften   | 196        |
| 8.2.1    | Kenngößen   | 196        |
| 8.2.2    | Einflüsse auf die Dielektrizitätskonstante von Holz                           | 196        |
| 8.2.3    | Prüfverfahren und praktische Nutzung  | 198        |
| 8.3      | Piezoelektrische Eigenschaften  | 199        |
| 8.3.1    | Kenngößen   | 199        |
| 8.3.2    | Einflüsse auf den Piezomodul von Holz   | 199        |
| 8.3.3    | Prüfverfahren und praktische Nutzung  | 200        |
| 8.4      | Magnetische Eigenschaften   | 201        |
| 8.5      | Elektrostatische Aufladungen  | 201        |
| <b>Q</b> | <b>Akustische Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen</b>                  | <b>204</b> |
| 9.1      | Übersicht   | 204        |
| 9.2      | Arten und Ausbreitungsformen von Wellen                                       | 204        |
| 9.3      | Schallgeschwindigkeit   | 205        |
| 9.3.1    | Kenngößen   | 205        |
| 9.3.2    | Weitere Kenngößen   | 209        |
| 9.3.3    | Einflüsse auf die Schallgeschwindigkeit                                       | 211        |
| 9.3.4    | Ausgewählte Gerätesysteme   | 213        |
| 9.4      | Schalldämpfung oder Schallabsorption  | 215        |

|  |  |            |
|--|--|------------|
| 9.5  | Schalldämmung  | 216        |
| 9.6  | Schallemission   | 216        |
| 9.6.1  | Kenngößen  | 216        |
| 9.6.2  | Einflüsse auf die Schallemission und praktische Nutzung der Schallemissionsanalyse | 218        |
| 9.6.3  | Messsysteme zur Schallemissionsanalyse   | 223        |
| 9.7  | Eigenfrequenz und Modalanalyse   | 226        |
| 9.7.1  | Bestimmung des Zug-/Druck-Elastizitätsmoduls                                       | 226        |
| 9.7.2  | Bestimmung des Biege-Elastizitätsmoduls  | 227        |
| 9.7.3  | Bestimmung des Torsionsmoduls  | 228        |
| <b>m Reibungseigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen</b>                          |  | <b>233</b> |
| <b>IQ Optische Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen</b>                        |  | <b>237</b> |
| 11.1   | Farbe  | 237        |
| 11.1.1   | Kennwerte der Farbe  | 237        |
| 11.1.2   | Farbänderung   | 239        |
| 11.1.2.1   | Wirkung von transparenten Beschichtungen   | 239        |
| 11.1.2.2   | Alterung in Innenräumen  | 239        |
| 11.1.2.3   | Farbänderung bei Freibewitterung   | 242        |
| 11.2   | Sonstige optische Eigenschaften (Tracheideeffekt)                                  | 242        |
| 11.3   | Spektrometrische Eigenschaften   | 243        |
| <b>IQ Korrosionsverhalten und Alterung von Holz und Holzwerkstoffen</b>              |  | <b>250</b> |
| 12.1   | Übersicht  | 250        |
| 12.2   | Einfluss des Klimas und Bestimmung der Klimabeständigkeit                          | 251        |
| 12.2.1   | Holz   | 251        |
| 12.2.2   | Holzwerkstoffe   | 255        |
| 12.3   | Alterung von Holz und Holzwerkstoffen  | 258        |
| 12.3.1   | Vollholz   | 258        |
| 12.3.2   | Holzwerkstoffe   | 259        |
| 12.4   | Einfluss der mechanischen Vorbeanspruchung   | 260        |
| 12.5   | Einfluss aggressiver Medien  | 261        |
| 12.5.1   | Wasser   | 262        |
| 12.5.2   | Chemikalien  | 262        |
| 12.5.3   | Metalle  | 263        |
| <b>Elastomechanische und inelastische Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen</b> |  | <b>266</b> |
| 13.1   | Übersicht  | 266        |
| 13.2   | Elastische Eigenschaften   | 266        |
| 13.2.1   | Elastizitätsgesetz und Spannungs-Dehnungs-Diagramm (Hookesches Gesetz)             | 266        |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 13.2.1.1 | Allgemeine Grundlagen im eindimensionalen Belastungsfall                    | 266 |
| 13.2.1.2 | Verallgemeinertes Hookesches Gesetz für orthotrope Werkstoffe               | 269 |
| 13.2.2   | Zur Orthotropie des Holzes und der Holzwerkstoffe                           | 274 |
| 13.2.3   | Tensortransformation  | 278 |
| 13.3     | Kenngößen und deren Messung   | 281 |
| 13.3.1   | Elastizitätsmodul (E-Modul)   | 281 |
| 13.3.1.1 | Statische Methoden  | 281 |
| 13.3.1.2 | Dynamischer E-Modul aus Durchschallung, Eigenfrequenzmessung (Modalanalyse) | 284 |
| 13.3.2   | Schubmodul  | 285 |
| 13.3.2.1 | Kenngöße  | 285 |
| 13.3.2.2 | Prüfung   | 286 |
| 13.3.3   | Poissonzahl   | 287 |
| 13.3.3.1 | Kenngöße  | 287 |
| 13.3.3.2 | Prüfung   | 289 |
| 13.3.4   | Knickung  | 289 |
| 13.3.4.1 | Elastische <u>Kn</u> ickfälle nach Euler                                    | 289 |
| 13.3.4.2 | Nichtelastisches Knicken nach Tetmajer                                      | 291 |
| 13.4     | Materialkennwerte und Einflussfaktoren                                      | 291 |
| 13.4.1   | Übersicht   | 291 |
| 13.4.2   | E-Modul und Schubmodul  | 294 |
| 13.4.2.1 | Einflussfaktoren  | 294 |
| 13.4.3   | Poissonzahlen   | 299 |
| 13.5     | Rheologische Eigenschaften  | 300 |
| 13.5.1   | Übersicht   | 300 |
| 13.5.2   | Kriechen  | 302 |
| 13.5.2.1 | Physikalische Ursachen  | 302 |
| 13.5.2.2 | Kenngößen/Prüfung   | 305 |
| 13.5.2.3 | Einflussfaktoren  | 309 |
| 13.5.3   | Mechanosorptives Verhalten von Holz   | 317 |
| 13.5.4   | Spannungsrelaxation   | 321 |
| 13.5.4.1 | Physikalische Ursachen  | 321 |
| 13.5.4.2 | Kenngößen/Prüfung   | 321 |
| 13.5.4.3 | Einflussfaktoren und Materialkennwerte                                      | 322 |
| 13.5.5   | Dauerstandfestigkeit  | 324 |
| 13.5.5.1 | Physikalische Ursachen  | 324 |
| 13.5.5.2 | Kenngößen/Prüfung   | 324 |
| 13.5.5.3 | Einflussfaktoren und Materialkennwerte                                      | 324 |
| 13.5.6   | Rheologische Modelle  | 326 |

### **^3 Festigkeitseigenschaften**

**336**

|          |                                       |     |
|----------|---------------------------------------|-----|
| 14.1     | Übersicht                             | 336 |
| 14.2     | Wirkung wesentlicher Einflussfaktoren | 340 |
| 14.2.1   | Struktur des Holzes                   | 340 |
| 14.2.1.1 | Faser-Last-Winkel/Schnitttrichtung    | 340 |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| 14.2.1.2  | Rohdichte und Jahrringe   | 341 |
| 14.2.1.3  | Astigkeil/Druckholz/Kerbspannungen  | 343 |
| 14.2.2    | Klimatische Bedingungen   | 345 |
| 14.2.3    | Alterung  | 349 |
| 14.2.4    | Vorgeschichte des Holzes  | 349 |
| 14.2.5    | Einfluss von Gamma-und Röntgenstrahlung   | 351 |
| 14.2.6    | Prüfmethodik  | 352 |
| 14.2.6.1  | Belastungsdauer und Belastungsgeschwindigkeit                                   | 352 |
| 14.2.6.2  | Belastungsart   | 353 |
| 14.2.6.3  | Probengeometrie   | 353 |
| 14.3      | Phänomenologische Beschreibung des Bruchverhaltens von Holz und Holzwerkstoffen | 358 |
| 14.3.1    | Vollholz  | 358 |
| 14.3.2    | Holzwerkstoffe  | 361 |
| 14.3.2.1  | Brettschichtholz, Massivholzplatten, Sperrholz                                  | 361 |
| 14.3.2.2  | Partikelwerkstoffe  | 362 |
| 14.4      | Ausgewählte Grundlagen der Bruchmechanik  | 365 |
| 14.4.1    | Übersicht   | 365 |
| 14.4.2    | Prüfmethodik  | 367 |
| 14.4.3    | Materialkennwerte und Einflussfaktoren  | 370 |
| 14.5      | Festigkeitseigenschaften  | 374 |
| 14.5.1    | Übersicht   | 374 |
| 14.5.2    | Plastische Eigenschaften  | 377 |
| 14.5.3    | Zugfestigkeit   | 379 |
| 14.5.4    | Druckfestigkeit   | 382 |
| 14.5.5    | Biegefestigkeit   | 384 |
| 14.5.6    | Scherfestigkeit   | 388 |
| 14.5.7    | Torsionsfestigkeit  | 391 |
| 14.5.8    | Spaltfestigkeit   | 392 |
| 14.5.9    | Nagel-und Schraubenauszieh widerstand   | 394 |
| 14.5.10   | Schlagzähigkeit   | 395 |
| 14.5.11   | Dauerschwingfestigkeit  | 398 |
| 14.5.12   | Härte und Abnutzungswiderstand  | 400 |
| 14.5.12.1 | Härte   | 400 |
| 14.5.12.2 | Statische Härteprüfung  | 401 |
| 14.5.12.3 | Dynamische Härteprüfung   | 402 |
| 14.5.12.4 | Einflussfaktoren und Materialkennwerte  | 403 |
| 14.5.13   | Abnutzungswiderstand  | 404 |
| 14.5.13.1 | Kenngößen/Prüfverfahren   | 405 |
| 14.5.13.2 | Einflussfaktoren und Materialkennwerte  | 406 |

## **Q Neue innovative Prüfverfahren 415**

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 15.1   | Übersicht                                    | 415 |
| 15.2   | Einfluss der Skalierung auf das Messergebnis | 416 |
| 15.3   | Bauteilprüfung und biaxiale Belastung        | 422 |
| 15.4   | Messsysteme für Prüfungen im Mikrobereich    | 423 |
| 15.4.1 | Dehnungsmessungen                            | 423 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 15.4.2 | In-situ-Testversuche mittels Elektronenmikroskop oder unter Stereomikroskop, Mikro-CT oder im Synchrotron | 424 |
| 15.4.3 | Neutronenradiographie und-tomographie   | 426 |
| 15.4.4 | Sylviscan   | 427 |
| 15.5   | Messsysteme für Prüfungen im Nanobereich und sonstige Methoden ..   | 428 |
| 15.5.1 | Nanoindentierung  | 428 |
| 15.5.2 | Dynamisch-Mechanische Analyse (DMA)   | 429 |
| 15.6   | Messsysteme für Messungen im Nanobereich  | 429 |
| 15.6.1 | RAMAN-Spektroskopie   | 430 |
| 15.6.2 | Rasterkraftmikroskopie  | 432 |

## **[Q Spannungen und Verformungen in Holz und Holzwerkstoffen 437**

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 16.1   | Wuchsspannungen im Vollholz, Mikrobrüche durch mechanische Belastung | 438 |
| 16.1.1 | Frostrisse   | 438 |
| 16.1.2 | Risse infolge von Saugspannungen                                     | 438 |
| 16.1.3 | Wuchsspannungen  | 438 |
| 16.1.4 | Verformungen durch Zug- und Druckholz                                | 440 |
| 16.1.5 | Risse infolge mechanischer Beanspruchung (Sturmschäden) ..           | 440 |
| 16.2   | Spannungen und Verformungen von Holzwerkstoffen (Eigenspannungen)    | 441 |
| 16.2.1 | Partikelwerkstoffe   | 441 |
| 16.2.2 | Werkstoffe auf Vollholzbasis   | 443 |
| 16.3   | Spannungen durch äußere, klimatische Einflüsse                       | 445 |

## **[Q Nutzung holzphysikalischer Eigenschaften zur Online-Qualitätskontrolle 448**

### **Modellierung von Holz und Holzwerkstoffen: Möglichkeiten und Grenzen 454**

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 18.1     | Vorbemerkungen   | 454 |
| 18.2     | Holz und Holzwerkstoffe  | 456 |
| 18.2.1   | Grenzen der Berechenbarkeit  | 456 |
| 18.2.2   | Vollholz   | 459 |
| 18.2.3   | Holzwerkstoffe   | 462 |
| 18.2.3.1 | Lagenholz (Sperrholz, Brettsperrholz)  | 462 |
| 18.2.3.2 | Verbundplatten   | 465 |
| 18.2.3.3 | Spanplatten  | 467 |
| 18.2.3.4 | Faserplatten   | 473 |
| 18.2.3.5 | Zusammenfassung und Schlussfolgerungen   | 474 |
| 18.3     | Durch Feuchtewechsel induzierte Spannungen, Verformungen und Versagensvorgänge | 475 |
| 18.3.1   | Ausgewählte FE-Modelle für die Spannungsberechnung                             | 475 |
| 18.3.2   | Quellung zwischen den Jahrringen   | 476 |
| 18.3.3   | Verformung mehrschichtiger Platten   | 479 |
| 18.4     | Feuchte- und Wärmetransport  | 481 |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>IQ</b> | <b>Verzeichnis wichtiger Kennwerte und Eigenschaften</b>   | <b>488</b> |
| 19.1      | Allgemeine Kennwerte und Grundlagen  | 488        |
| 19.1.1    | Nutzungsklassen von Holz nach Eurocode 5/DIN EN 1995-1-1<br>und Gebrauchsklassen und Dauerhaftigkeitsklassen | 488        |
| 19.1.2    | Kennzeichnung von Holzwerkstoffen  | 490        |
| 19.1.3    | Brandverhalten von Holz und Holzwerkstoffen  | 491        |
| 19.1.4    | Holzschädlinge   | 494        |
| 19.2      | Eigenschaften von Vollholz   | 495        |
| 19.2.1    | Kennwerte von Holz nach DIN 68364:2005   | 495        |
| 19.2.2    | Eigenschaften von Vollholz   | 501        |
| 19.2.3    | Charakteristische Kennwerte von Vollholz   | 502        |
| 19.2.4    | Güteanforderungen  | 506        |
| 19.2.4.1  | Güteanforderungen an Rund- und Schnittholz<br>(Nadelholz)  | 506        |
| 19.2.4.2  | Güteanforderungen an Rund- und Schnittholz<br>(Laubholz)   | 509        |
| 19.2.4.3  | Güteanforderungen an Rund- und Schnittholz<br>(Nadelholz und Laubholz)                                       | 511        |
| 19.2.5    | Güteanforderungen an Baurundholz   | 513        |
| 19.2.6    | Kennwerte von vergütetem Holz  | 516        |
| 19.2.7    | Kennwerte für Quellung und Tränkbarkeit  | 521        |
| 19.2.8    | Eigenschaften verschiedener Rindenarten  | 524        |
| 19.2.9    | Kennwerte für die Berücksichtigung der Belastungsdauer . . . .   | 525        |
| 19.3      | Eigenschaften von ausgewählten Holzwerkstoffen   | 527        |
| 19.4      | Prüfverfahren zur Ermittlung ausgewählter Festigkeitseigenschaften ..  | 540        |
| 19.5      | Dampfdruck und relative Luftfeuchte  | 554        |
| 19.6      | Quellung in Lösungen   | 554        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>Q3</b> | <b>Verzeichnis ausgewählter Normen, Symbole und<br/>weiterführender Literatur</b> | <b>558</b> |
| 20.1      | Normen  | 558        |
| 20.1.1    | Vollholz  | 558        |
| 20.1.2    | Holzwerkstoffe  | 560        |
| 20.1.3    | Verklebung  | 565        |
| 20.1.4    | Holzschutz  | 566        |
| 20.1.5    | Formaldehydbestimmung   | 567        |
| 20.1.6    | Holzbau   | 568        |
| 20.1.7    | Dämmstoffe  | 569        |
| 20.1.8    | WPC   | 569        |
| 20.2      | Wichtige Symbole  | 570        |
| 20.3      | Ausgewählte weiterführende Literatur  | 570        |