Nebgen
Peterson

Holzbau kompakt nach Eurocode 5

5. Auflage

Bauwerk BBB
Beuth

Holzbau kompakt
nach Eurocode 5

(Leerseite)

Prof. Dr.-Ing. Nikolaus Nebgen
Prof. Dr.-Ing. Leif A. Peterson

Holzbau kompakt nach Eurocode 5

5., überarbeitete Auflage

Beuth Verlag GmbH · Berlin · Wien · Zürich

Bauwerk

© 2015 Beuth Verlag GmbH
Berlin · Wien · Zürich
Am DIN-Platz
Burggrafenstraße 6
10787 Berlin

Telefon: +49 30 2601-0
Telefax: +49 30 2601-1260
Internet: www.beuth.de
E-Mail: kundenservice@beuth.de

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.
Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in elektronische Systeme.

Die im Werk enthaltenen Inhalte wurden vom Verfasser und Verlag sorgfältig erarbeitet und geprüft. Eine Gewährleistung für die Richtigkeit des Inhalts wird gleichwohl nicht übernommen. Der Verlag haftet nur für Schäden, die auf Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit seitens des Verlages zurückzuführen sind. Im Übrigen ist die Haftung ausgeschlossen.

Druck und Bindung:
Zakład Graficzny Colonel S.A., Kraków

Gedruckt auf säurefreiem, alterungsbeständigem Papier nach DIN EN ISO 9706.

ISBN 978-3-410-25455-3

Vorwort zur 5. Auflage

Die Zeit der großen Umbrüche in der Normung für den Holzbau ist seit Dezember 2010, also mit dem Erscheinen der vorläufig endgültigen Version des Eurocode 5 DIN EN 1995-1-1:2010-12, vorbei. Dennoch erforderten Anpassungen von darin vorausgesetzten Normen Änderungen in dem vorliegenden Buch. So wurden z. B. die vorher der DIN EN 1194 zu entnehmenden „Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte für Brettschicht- und Balkenschichtholz“ durch die in DIN EN 14080:2013-09 ersetzt. Durch das A2-Papier aus 2014 änderten sich vor allem einige Mindestabstände von Verbindungsmitteln.

Vergleicht man die Ergebnisse der Berechnungen in den Beispielen der Kapitel 14 und 15 mit denen der 4. Auflage, so stellt man fest, dass die Unterschiede meist marginal sind; dennoch gibt es kaum eine Zahl darin, die nicht geändert werden musste.

Den praktisch tätigen Tragwerksplanern wünschen die Autoren, dass nun eine Zeit anbricht, in der das Damoklesschwert der Umstellungen nicht mehr über ihnen hängt und sie sich wieder ihren eigentlichen Aufgaben mit Kreativität widmen können.

Für hilfreiche Anregungen und Korrekturhinweise danken die Autoren insbesondere Prof. Dr. François Colling, Prof. Dr. Thomas Uibel und Prof. Dr. Wilfried Moorkamp.
Die Autoren bitten auch für die 5. Auflage weiterhin um Zuschriften.

Aachen, Reutlingen im Juli 2015

Leif A. Peterson

Nikolaus Nebgen

(Leerseite)

Inhaltsübersicht

Formelzeichen XI
Beispiele für zusammengesetzte Formelzeichen XII
Abkürzungen XII
1 Einführung 1
2 Grundlagen der Bemessung 3
2.1 Einwirkungen 3
2.2 Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED) 5
2.3 Nutzungsklassen (NKL) 7
2.4 Widerstände 7
2.5 Grenzzustände 10
3 Baustoffe 12
3.1 Allgemeines 12
3.1.1 Holzfeuchte 14
3.1.2 Schwind- und Quellmaße 16
3.1.3 Resistenz- und Dauerhaftigkeitsklassen 18
3.2 Holz 19
3.2.1 Allgemeines 19
3.2.2 Vollholz (VH) 22
3.2.3 Konstruktionsvollholz (KVH) 28
3.2.4 Balkenschichtholz (BASH) 29
3.2.5 Brettschichtholz (BSH) 31
3.3 Holzwerkstoffe 34
3.3.1 Allgemeines 34
3.3.2 Brettsperrholz (BSPH) 35
3.3.3 Furnierschichtholz (FSH) 36
3.3.4 Sperrholz (SPH) 36
3.3.5 OSB-Platten (OSB) 39
3.3.6 Kunstharzgebundene Spanplatten 41
3.3.7 Zementgebundene Spanplatten 45
3.3.8 Faserplatten 46
4 Dauerhaftigkeit 49
4.1 Allgemeines 49

4.2 Gebrauchsklassen (GK) ... 49
4.3 Vorbeugende bauliche Maßnahmen ... 51
5 Brandschutz ... 53
5.1 Allgemeines ... 53
5.2 Einwirkungen im Brandfall ... 54
5.3 Feuerwiderstand unbekleideter Holzbauteile ... 54
5.4 Feuerwiderstand von Verbindungen ... 57
6 Konstruieren mit Holz und Holzwerkstoffen ... 58
6.1 Grundsätzliches ... 58
6.2 Grundlagenermittlung ... 60
6.3 Vorplanung ... 60
6.3.1 Allgemeines ... 60
6.3.2 Beispiel für eine Werkhalle ... 61
6.3.3 Vorplanungshilfen ... 65
6.4 Entwurfsplanung ... 83
6.4.1 Allgemeines ... 83
6.4.2 Beispiel für eine überschlägige Bemessung (Bsp. aus Vorplanung) ... 83
6.4.3 Checkliste Entwurfsplanung ... 87
6.5 Genehmigungsplanung ... 88
6.5.1 Allgemeines ... 88
6.5.2 Checkliste Genehmigungsplanung ... 89
6.5.3 Bemessungsbeispiel ... 90
6.6 Ausführungsplanung ... 98
6.6.1 Allgemeines ... 98
6.6.2 Checkliste Ausführungsplanung [siehe auch [17]] ... 98
7 Schnittgrößen ... 100
7.1 Allgemeines ... 100
7.1.1 Statisches Modell ... 100
7.1.2 Steifigkeiten ... 105
7.2 Ersatzstabverfahren ... 105
7.2.1 Druckstäbe ... 105
7.2.2 Biegestäbe ... 107
7.3 Theorie II. Ordnung ... 108
7.4 Fachwerke ... 111

8 Zugstäbe ... 116
8.1 Mittige Zugkraft und symmetrische Krafteinleitung ... 116
8.2 Mittige Zugkraft und einseitige Krafteinleitung ... 116
8.3 Ausmittige Zugkraft ... 117
9 Druckstäbe ... 118
9.1 Mittige Druckkraft ... 118
9.2 Ausmittige Druckkraft ... 124
10 Biegestäbe ... 125
10.1 Gerade Biegestäbe mit konstantem Querschnitt ... 125
10.1.1 Einachsige Biegung ... 125
10.1.2 Zweiachsige Biegung ... 130
10.1.3 Biegung und Zug ... 131
10.1.4 Biegung und Druck ... 131
10.2 Pultdachträger ... 132
10.3 Satteldachträger mit geradem unteren Rand ... 133
10.4 Gekrümmte Träger ... 136
10.5 Satteldachträger mit gekrümmtem unteren Rand ... 137
10.6 Verstärkung gekrümmter Träger und Satteldachträger aus BSH ... 139
11 Scheiben aus Tafeln ... 145
11.1 Allgemeines ... 145
11.2 Dach- und Deckentafeln ... 148
11.3 Wandtafeln ... 150
11.4 Tragfähigkeitsnachweise ... 153
12 Verbindungen ... 155
12.1 Allgemeines ... 155
12.2 Stiftverbindungen ... 158
12.2.1 Allgemeines ... 158
12.2.2 Stabdübelverbindungen ... 164
12.2.3 (Pass-)Bolzenverbindungen ... 166
12.2.4 Nagelverbindungen ... 169
12.2.5 Holzschraubenverbindungen ... 174
12.2.6 Tragfähigkeit auf Herausziehen ... 176
12.2.7 Kombinierte Beanspruchung ... 178
12.3 Dübelverbindungen ... 179
12.4 Nagelplattenverbindungen ... 185

12.5 Kontaktverbindungen ... 186
12.5.1 Auflager- und Schwellendruck ... 186
12.5.2 Kontaktfläche schräg zur Faserrichtung ... 187
12.5.3 Versatz ... 189
12.6 Universal-Keilzinkenverbindungen ... 190
12.7 Verbundbauteile aus Brettschichtholz ... 191
13 Gebrauchstauglichkeit ... 192
13.1 Verformungen ... 192
13.1.1 Allgemeines ... 192
13.1.2 Elastische Verformungen ... 192
13.1.3 Kriechverformungen ... 194
13.1.4 Verschiebungen in Verbindungen ... 194
13.2 Durchbiegungsnachweise ... 196
13.3 Schwingungsnachweis ... 198
14 Beispiel Wohnhaus ... 199
14.1 Übersichtsskizzen ... 199
14.2 Das Dach ... 200
14.3 Die Decke über dem Erdgeschoss ... 209
14.4 Die Abtragung von Horizontallasten ... 216
15 Beispiel Hallentragwerk ... 222
15.1 Übersichtsskizzen (Ersatz für einen Positionsplan) ... 222
15.2 Pos. 1: Sparrenpfetten ... 223
15.3 Pos. 2: Fachwerkträger ... 225
15.4 Allgemeines zur Aussteifung einer Halle ... 238
15.5 Pos. 3: Dachverbände ... 241
15.6 Pos. 4: Wandverbände in den Längswänden ... 246
15.7 Pos. 5: Stützen in den Längswänden ... 250
15.7.1 Pendelstütze ... 252
15.7.2 Eingespannte Stütze ... 254
Literatur ... 258
Normen ... 260
Links ... 262
Kanthölzer (DIN 4070-2 (Auswahl)) ... 263
Stichworte ... 265
Konstruktionszeichnungen ... 268

Formelzeichen

Hauptzeiger

A	Querschnittsfläche
C	Federsteifigkeit
E	Elastizitätsmodul
F	Kraft; Einzellast
G	Schubmodul
I	Flächenmoment 2. Grades
K	Verschiebungsmodul
M	Biegemoment
N	Normalkraft
R	Tragfähigkeit von VM
T	Schubkraft
V	Querkraft
a	Abstand
b	Breite
d	Durchmesser
e	Ausmitte, Abstand
f	Festigkeit (eines Baustoffes)
h	Höhe
i	Trägheitsradius
k	Beiwert
ℓ	Länge
n	Anzahl
r	Radius, allgemein
t	Dicke
u	Verformung
w	Durchbiegung
α	Winkel; Verhältnis
β	Winkel; Knicklängenbeiwert
γ	Winkel; Abminderungsbeiwert
γ	Teilsicherheitsbeiwert
γ_G	für ständige Einwirkungen
γ_M	für Baustoffeigenschaften
γ_Q	für veränderliche Einwirkungen
η	Ausnutzungsgrad
λ	Schlankheitsgrad
ρ	Rohdichte
σ	Normalspannung
τ	Schubspannung
ψ	Kombinationsbeiwert
ψ_0	Kombinationsbeiwert
ψ_2	Kombinationsbeiwert

Fußzeiger

ad	geklebt (adhesive)
ap	First (apex)
ax	axial
c	Druck (compression)
c	Dübel (connector)
d	Bemessungswert (design value)
def	Verformung (deformation)
dis	Verteilung (distribution)
ef	wirksam
f	Gurt, Flansch (flange)
fin	End- (final)
G	ständige Einwirkung
h	Lochleibung
inst	Anfangs- (instantantaneous)
in	innerer
j	Verbindungseinheit
k	charakteristisch
m	Biegung (moment)
M	Material
mean	Mittelwert (mean value)
mod	Modifikation
n	netto
Q	veränderliche Einwirkung
R	Rollschub (rolling shear)
req	erforderlich (required)
s	Auflager (support)
ser	Gebrauchstauglichkeit (serviceability)
t	Zug (tension)
v	Schub-, Scher- (shear)
V	Querkraft
w	Steg (web)
y	Fließ- (yield)
α	Winkel zwischen Kraft- (oder Spannungs-) und Faserrichtung
0 ; 90	entsprechende Richtungen in Bezug zur Faserrichtung
05	5 %-Quantil eines charakteristischen Wertes

Beispiele für zusammengesetzte Formelzeichen

$E_{0,mean}$	mittlerer Elastizitätsmodul in Faserrichtung
F_k	charakteristischer Wert einer Einwirkung
$F_{t,90,d}$	Bemessungswert einer Zugkraft rechtwinklig zur Faserrichtung
$G_{k,sup}$	oberer charakteristischer Wert einer ständigen Einwirkung
K_{ser}	Verschiebungsmodul für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis
$M_{y,k}$	charakteristisches Fließmoment eines Verbindungsmittels
b_{ef}	wirksame Beplankungsbreite
$f_{c,90,d}$	Bemessungswert der Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung
$f_{h,k}$	charakteristische Lochleibungsfestigkeit
h_{ap}	Querschnittshöhe am First
k_{def}	Rechenwert für die Verformungsbeiwerte
k_{mod}	Rechenwert für die Modifikationsbeiwerte
$t_{i,max,d}$	Bemessungswert des größten Schubflusses im i-ten Querschnittsteil
t_{req}	erforderliche Mindestdicke
$w_{net,fin}$	gesamte resultierende Enddurchbiegung
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für eine Baustoffeigenschaft
$\lambda_{rel,m}$	bezogener Kippschlankheitsgrad
$\sigma_{c,\alpha,d}$	Bemessungswert der Druckspannung unter Winkel α zur Faserrichtung
$\sigma_{m,z,d}$	Bemessungswert der Biegespannung um die z-Achse

Abkürzungen

BZ	Bauaufsichtliche Zulassung
BASH	Balkenschichtholz
Bo	Bolzen
BSH	Brettschichtholz, BS-Holz
BSPH	Brettsperrholz
c	kombiniert
C	Coniferous Tree (Nadelbaum)
D	Deciduous Tree (Laubbaum)
Dfl	Dachfläche
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
Dü	Dübel besonderer Bauart
ETA	Europäische Zulassung
FSH	Furnierschichtholz
g	Lastfall ständige Lasten
Gfl	Grundfläche
GK	Gebrauchsklasse
GL	Glulam (glued laminated timber)
GOK	Geländeoberkante
h	homogen
HW	Holzwerkstoff
KI	Kiefer
KLED	Klasse der Lasteinwirkungsdauer
KVH	Konstruktionsvollholz
LF	Lastfall
LH	Laubholz
LK	Lastfallkombination
Na	Nagel
NH	Nadelholz
NKL	Nutzungsklasse
OSB	Oriented Strand Board
PB	Passbolzen
RNa	Rillennagel
s	Lastfall Schnee
SDü	Stabdübel
SoNa	Sondernagel
SPH	Sperrholz
Sr	Holzschranbe
vb	vorgebohrt
VH	Vollholz
VM	Verbindungsmittel
w	Lastfall Wind

1 Einführung

Warum Holzbau?

Holz verfügt über zahlreiche Eigenschaften, die es seit Jahrhunderten als geeigneten Baustoff qualifizieren. Unter anderem aufgrund der Verfügbarkeit und ökonomischer Gesichtspunkte wurde Holz bereits vor Jahrhunderten von Zimmerleuten verwendet. Historische Gebäude aus dieser Zeit belegen die Dauerhaftigkeit dieses Materials bei richtiger Verwendung und Instandhaltung.

Der Umgang mit dem natürlichen, organischen Material hat sich längst zu einer Ingenieurdisziplin entwickelt, die mit modernen Methoden der Planung, der Berechnung, der Fertigung, des Transports und der Montage für heutige Bauaufgaben technisch und wirtschaftlich interessant ist.

Der Baustoff Holz hat als nachwachsender Rohstoff insbesondere in den letzten Jahren stetig an Bedeutung gewonnen. Neben den genannten positiven Eigenschaften der nachhaltigen Verfügbarkeit und der Ökonomie sind hierfür die wichtigen technischen Eigenschaften der Festigkeiten und Steifigkeiten mitverantwortlich. Bei Holz und Holzwerkstoffen sind diese vornehmlich von der Rohdichte abhängigen Eigenschaften trotz der unter anderem daher resultierenden starken Streuungen – zumindest bezogen auf das Eigengewicht – sehr groß.

Wer mit Holz baut, handelt nach dem Grundsatz der Nachhaltigkeit. Der Begriff der Nachhaltigkeit stammt aus der Forstwirtschaft, d. h. aus der Produktion des Baustoffes Holz. Die Nachhaltigkeit ist heutzutage ein sehr strapazierter Begriff und meint grundsätzlich den bewussten Umgang mit Rohstoffen. Es werden nicht mehr Ressourcen verbraucht als nachwachsen und somit stehen diese Ressourcen auch für kommende Generationen zur Verfügung. Dass Holz darüber hinaus auch in der weiteren Wertschöpfungskette eine sehr gute Energie- und Ökobilanz aufweist, ist unstrittig (vgl. [1] bis [3]) und wird sicher zukünftig zunehmend in ganzheitlichen Nachhaltigkeitsanalysen Berücksichtigung finden.

Die Bestandserhaltung der Wälder ist für den Klimaschutz aufgrund ihrer Photosyntheseleistung, bei der Kohlenstoffdioxid (CO_2) in Sauerstoff (O_2) umgewandelt wird, sowie ihrer damit verbundenen Speicherfunktion entscheidend. Die Verwendung von Holz als Baustoff bedeutet eine langfristige Speicherung von CO_2 in den Bauwerken. Zum Aufbau von 1 m^3 Holzmasse entzieht der Baum der Atmosphäre 0,8 t CO_2. Somit kann man folgenden Vergleich anstellen:

Der Einbau von 5 m^3 Holz in einem Gebäude bedeutet die Speicherung von 4 t CO_2, die vorher der Atmosphäre entzogen worden sind. Im Gegensatz dazu werden von einem Pkw, der 15 000 km zurückgelegt hat, ca. 4 t CO_2 an die Atmosphäre abgegeben.

Auch die weiteren, allgemein als vorteilhaft und angenehm eingestuften Eigenschaften des Holzes wie Geruch, Oberflächenbeschaffenheit, Aussehen, Wärmedämmung und Feuchteaustausch mit der Raumluft kann man zu einem „Wohlfühlfaktor“ subsumieren, der häufig mit für die Wahl von Holz als Baustoff ausschlaggebend ist.

Wie Holzbau?

Entwurf

Hat sich der Bauherr für das Bauen mit Holz und Holzwerkstoffen entschieden, dann ist es für das Gelingen des Holzbauwerkes von entscheidender Bedeutung, dass der mit der Tragwerksplanung betraute Ingenieur und das ausführende Unternehmen das Bauen mit Holz beherrschen. Grundlegende Schritte beim Konstruieren mit Holz und Holzwerkstoffen und ausführliche Beispiele sind deshalb in den nachfolgenden Abschnitten dargestellt.

Bemessung

Für die Bemessung, als Kernaufgabe des Tragwerksplaners, ist der Eurocode 5 (EC5) „Bemessung, und Konstruktionen von Holzbaubauten“ als DIN EN 1995 [N1] in Verbindung mit den Nationalen Anwendungsdokumenten (NAD) ein wesentliches Hilfsmittel, welcher die DIN 1052 [N4] abgelöst hat. Das vorliegende Buch Holzbau kompakt soll eine schnelle und überschaubare Einführung in die Aufgaben eines Holzingenieurs bei der Bemessung nach EC5 ermöglichen. Mit den genormten Regelungen lassen sich einerseits viele Alltagsaufgaben wirklichkeitsnäher erfassen. Andererseits können auch Sonderfälle – resultierend aus den Umgebungsbedingungen – berücksichtigt werden. Damit ist ein größerer Umfang an detaillierteren Berechnungen und konstruktiven Vorgaben unvermeidlich geworden.

In Einzelfällen werden in diesem Buch anerkannte Regeln der Technik ebenso wie aktuelle Forschungsergebnisse für eine praktikable und realitätsnahe Prognose des Tragverhaltens zusätzlich berücksichtigt.

Fertigung

Der moderne Holzbau setzt einen hohen Vorfertigungsgrad voraus. Dieser ist in zweierlei Hinsicht wichtig. Die Fertigung im Betrieb kann wesentlich wirtschaftlicher und mit leistungsfähigeren Verbindungsmitteln als auf der Baustelle erfolgen. Außerdem ist es nur mit einem hohen Vorfertigungsgrad denkbar, das Holzwerk in kurzer Zeit so weit zu vollenden, dass ein wirksamer Witterungsschutz gewährleistet ist. Besonderes Augenmerk ist auf die Ausführung funktionaler Stöße zwischen den vorgefertigten Elementen zu legen. Neben dem Lastabtrag sind hier auch bauphysikalische Belange wie Wärmebrücken und Luftdichtheit zu berücksichtigen. Die Verbindungen, die auf der Baustelle hergestellt werden, sollten daher auf möglichst wenige, einfache und praktikable Mittel beschränkt bleiben. In der Werkstatt wird demgegenüber kleineren Verbindungsmitteln, die in höheren Stückzahlen leistungsfähiger und für den Lastabtrag gefälliger sind als die großen, der Vorzug gegeben.

Transport und Montage

Die Aufgabenbereiche Transport und Montage sind für einen erfolgreichen Holzbau ebenfalls von großer Bedeutung, werden aber im Rahmen dieses Buches nicht behandelt. Der Tragwerksplaner ist dennoch verpflichtet, Fertigung, Transport und Montage so weit vorzudenken, dass überall die optimalen Verfahren und Mittel eingesetzt werden. Dazu gehören Entscheidungen über die Größe vorgefertigter Einheiten ebenso wie die statische Berücksichtigung sämtlicher Montagezustände.

2 Grundlagen der Bemessung

2.1 Einwirkungen

Die Grundlagen der Tragwerksplanung, das Sicherheitskonzept und die Bemessungsregeln des EC5 basieren – wie bei allen Baustoffen – auf dem Eurocode 0 (EC0) „Grundlagen der Tragwerksplanung“ als DIN EN 1990 [N1] in Verbindung mit dem zugehörigen „Nationalen Anwendungsdokument“ (NAD). Für die statische Bemessung werden aus den charakteristischen Einwirkungen (Index k) durch Kombination mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach Tabelle 2.1 und den Kombinationsbeiwerten nach Tabelle 2.2 die Bemessungswerte der Einwirkungen (Index d) ermittelt.

Während die Angaben zu den Einwirkungen bzw. Beanspruchungen in den Normen der Reihe DIN EN 1991 [N3] also dem Eurocode 1 (EC1) bauartenunspezifisch enthalten sind, werden im EC5 für die Bemessung im Holzbau zusätzliche, spezielle Festlegungen bezüglich der Beanspruchbarkeiten getroffen, die im Folgenden unter 2.2 und 2.3 genauer erläutert werden.

Kombinationsregeln für Tragfähigkeitsnachweise (ULS)

Beim Nachweis der ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation (Grundkombination) im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird nach EC0 folgende Kombinationsregel zur Bestimmung von Bemessungswerten der Beanspruchungen bzw. der Lastfallkombinationen (LK) angegeben:

$$E_{\mathrm{d}} = E\left\{\sum_{\mathrm{j}\geq 1}\gamma_{\mathrm{G,j}}\cdot G_{\mathrm{k,j}} \oplus \gamma_{\mathrm{Q,1}}\cdot Q_{\mathrm{k,1}} \oplus \sum_{\mathrm{i}>1}\gamma_{\mathrm{Q,i}}\cdot\psi_{\mathrm{0,i}}\cdot Q_{\mathrm{k,i}}\right\}$$

Für die außergewöhnliche Bemessungssituation ergeben sich die LK unter Berücksichtigung des Bemessungswertes der außergewöhnlichen Einwirkung A_{d} zu

$$E_{\mathrm{d}} = E\left\{\sum_{\mathrm{j}\geq 1}G_{\mathrm{k,j}} \oplus A_{\mathrm{d}} \oplus (\psi_{1,1}\, oder\, \psi_{2,1})\cdot Q_{\mathrm{k,1}} \oplus \sum_{\mathrm{i}>1}\psi_{2,\mathrm{i}}\cdot Q_{\mathrm{k,i}}\right\}.$$

Die Wahl zwischen $\psi_{1,1}$ oder $\psi_{2,1}$ hängt von der maßgebenden außergewöhnlichen Bemessungssituation ab (z. B. Anprall oder Brandbelastung).

$\oplus$ bedeutet „in Kombination mit“

γ_{G}, γ_{Q} Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungsseite nach Tabelle 2.1

ψ_{i} Beiwerte nach Tabelle 2.2

$G_{\mathrm{k,j}}$ charakteristischer Wert ständiger Einwirkungen

$Q_{\mathrm{k,i}}$ charakteristischer Wert veränderlicher Einwirkungen

Kombinationsregeln für Gebrauchstauglichkeitsnachweise (SLS)

seltene Bemessungssituation	quasi-ständige Bemessungssituation
$E_d = E\left\{\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \oplus Q_{k,1} \oplus \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}\right\}$	$E_d = E\left\{\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \oplus \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}\right\}$

Tabelle 2.1: Teilsicherheitsbeiwerte γ für Einwirkungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Grenzzustand	Versagen des Tragwerks		Verlust der Lagesicherheit	
Einwirkung	ständig	veränderlich	ständig	veränderlich
ungünstig	$\gamma_G = 1{,}35$	$\gamma_Q = 1{,}5$	$\gamma_G = 1{,}10$	$\gamma_Q = 1{,}5$
günstig	$\gamma_G = 1{,}0$		$\gamma_G = 0{,}90$	

Tabelle 2.2: Beiwerte ψ_0, ψ_1 und ψ_2

Einwirkung	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Nutzlasten			
Kategorien A, B – Wohn-, Aufenthalts- und Büroräume	0,7	0,5	0,3
Kategorien C, D – Versammlungs- und Verkaufsräume	0,7	0,7	0,6
Kategorie E – Lagerräume	1,0	0,9	0,8
Verkehrslasten			
Kategorie F – Fahrzeuglast ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G – 30 kN ≤ Fahrzeuglast ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H – Dächer	0	0	0
Schnee- und Eislasten			
Orte ≤ 1000 m über NN	0,5	0,2	0
Orte > 1000 m über NN	0,7	0,5	0,2
Windlasten	0,6	0,2	0
Temperatureinwirkungen (nicht Brand)	0,6	0,5	0
Baugrundsetzungen	1,0	1,0	1,0

Mit den Kombinationsbeiwerten ψ_0, ψ_1 und ψ_2 wird die reduzierte Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens der ungünstigsten Auswirkungen mehrerer unabhängiger veränderlicher Einwirkungen berücksichtigt. Mit dem Beiwert ψ_0 wird dies für die charakteristischen Werte der veränderlichen Einwirkungen berücksichtigt. Die Beiwerte ψ_1 und ψ_2 geben darüber hinaus den häufigen und den quasi-ständigen Anteil der veränderlichen Einwirkung an. So sind z. B. von den Nutzlasten in Wohnräumen nur 30 % als quasi-ständig wirkend anzunehmen.

Beispiel: Normalkräfte einer Innenstütze

Lastfall	ständige Last	Schneelast (Ort > 1000 m über NN)	Nutzlast Kategorie A
charakteristische Normalkraft	$N_{g,k}$	$N_{s,k}$	$N_{q,k}$

LK nach EC0	Kombinationsregeln zur Ermittlung der Bemessungswerte N_d
g	$\gamma_G \cdot N_{g,k} = 1{,}35 \cdot N_{g,k}$
g + s	$\gamma_G \cdot N_{g,k} + \gamma_Q \cdot N_{s,k} = 1{,}35 \cdot N_{g,k} + 1{,}5 \cdot N_{s,k}$
g + q	$\gamma_G \cdot N_{g,k} + \gamma_Q \cdot N_{q,k} = 1{,}35 \cdot N_{g,k} + 1{,}5 \cdot N_{q,k}$
g + s + q	$\gamma_G \cdot N_{g,k} + \gamma_Q \cdot N_{s,k} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot N_{q,k} = 1{,}35 \cdot N_{g,k} + 1{,}5 \cdot N_{s,k} + 0{,}7 \cdot 1{,}5 \cdot N_{q,k}$
g + q + s	$\gamma_G \cdot N_{g,k} + \gamma_Q \cdot N_{q,k} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot N_{s,k} = 1{,}35 \cdot N_{g,k} + 1{,}5 \cdot N_{q,k} + 0{,}5 \cdot 1{,}5 \cdot N_{s,k}$

2.2 Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED)

Die Dauer der Beanspruchung beeinflusst die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen. Um diesen Einfluss der Lasteinwirkungsdauer vereinfacht zu berücksichtigen, wurden die fünf Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED) ständig, lang, mittel, kurz und sehr kurz definiert. Ihre Zuordnung zu den Lasten ist Tabelle 2.3 zu entnehmen. Bei Kombinationen von Einwirkungen mit unterschiedlicher Dauer ist die kürzeste Einwirkungsdauer für den Grenzzustand bei dieser Kombination maßgebend, da die gemeinsame Wirkung von mehreren Lasten durch die Dauer der kürzesten Einwirkung begrenzt wird.

Die Einstufung in die KLED ergibt sich aus der Summe aller Zeitspannen, in denen die Einwirkung während der gesamten Nutzungsdauer des Gebäudes mit mindestens dem vollen charakteristischen Wert auftritt. Zeitspannen mit Einwirkungsgrößen unterhalb des charakteristischen Wertes werden bei der Summation demnach nicht berücksichtigt und bleiben für die Einteilung in die KLED unberücksichtigt. Dies erklärt z. B. die Eingruppierung der Schneelasten entsprechend Tabelle 2.3 in kurz bzw. mittel, obwohl der Schnee in vielen Gegenden – über die Nutzungsdauer aufsummiert – wesentlich länger als Lasteinwirkung zu erwarten ist.

Tabelle 2.3: Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED)

	Einwirkung	KLED
	Eigenlasten – DIN EN 1991-1-1	ständig
Kategorie	**Lotrechte Nutzlasten – DIN EN 1991-1-1**	
A	Spitzböden, Wohn- und Aufenthaltsräume	mittel
B	Büroflächen, Arbeitsflächen, Flure	mittel
C	Flächen und Räume, die der Ansammlung von Personen dienen können (mit Ausnahme von unter A, B, D und E festgelegten Kategorien)	kurz
D	Verkaufsräume	mittel
E	Fabriken und Werkstätten, Ställe, Lagerräume und Zugänge, Flächen mit erheblichen Menschenansammlungen	lang
F	Verkehrs- und Parkflächen für leichte Fahrzeuge (Gesamtlast ≤ 25 kN), Zufahrtsrampen zu diesen Flächen	mittel kurz
G	Flächen für den Betrieb mit Gegengewichtsstaplern	mittel
H	Nicht begehbare Dächer, außer für übliche Erhaltungsmaßnahmen, Reparaturen	kurz
K	Hubschrauber-Regellasten	kurz
T	Treppen und Treppenpodeste	kurz
Z	Zugänge, Balkone und Ähnliches	kurz
	Horizontale Nutzlasten – DIN EN 1991-1-1	
	Horizontale Nutzlasten infolge von Personen auf Brüstungen, Geländern und anderen Konstruktionen, die als Absperrung dienen	kurz
	Horizontallasten zur Erzielung einer ausreichenden Längs- und Querstei-figkeit	a)
	Horizontallasten für Hubschrauberlandeplätze auf Dachdecken für horizontale Nutzlasten für Überrollschutz	 kurz/ sehr kurz
	Windlasten – DIN EN 1991-1-4	kurz / sehr kurz[b)]
	Schnee- und Eislasten – DIN EN 1991-1-3 Geländehöhe des Bauwerkstandortes ≤ 1000 m über NN Geländehöhe des Bauwerkstandortes > 1000 m über NN	 kurz mittel
	Anpralllasten nach DIN EN 1991-1-7	sehr kurz
	Horizontallasten aus Kran- und Maschinenbetrieb – DIN EN 1991-3	kurz

[a)] entsprechend den zugehörigen Lasten
[b)] Bei Wind darf für k_{mod} das Mittel aus kurz und sehr kurz verwendet werden.

2.3 Nutzungsklassen (NKL)

Die Eigenschaften des natürlichen, hygroskopischen Baustoffs Holz werden durch das Umgebungsklima beeinflusst. Hierbei hat die Luftfeuchte im Vergleich zu den weiteren klimatischen Randbedingungen den maßgebenden Einfluss.

Das Holz gleicht seinen Feuchtegehalt an die Umgebungsbedingungen an.

Bei ausreichend langer Lagerung in einem Klima konstanter Luftfeuchtigkeit und konstanter Temperatur stellt sich im Holz eine sogenannte Ausgleichs- oder auch Gleichgewichtsfeuchte ein. Bei einer Luftfeuchtigkeit von 65 % und einer Temperatur von 20 °C ist diese korrespondierende Holzfeuchte bei Fichtenholz etwa 12 %.

Unterhalb des Fasersättigungsbereiches von ca. 30 % Holzfeuchte ändern sich mit dem Wassergehalt das Volumen, die mechanischen Eigenschaften und das Kriechverhalten unseres Baustoffs.

Die gesamte Bandbreite des Umgebungsklimas während der Nutzungsdauer wird für die Bemessung vereinfachend in drei Nutzungsklassen (NKL) eingeteilt:

In die **NKL 1** sind alle Bauteile einzustufen, die sich in allseitig **dauerhaft geschlossenen und beheizten Bauwerken** befinden und somit vor dem Außenklima geschützt sind. Die mittlere Holzfeuchte von Nadelhölzern beträgt in NKL 1 nicht mehr als 12 %. Wegen der sehr langsamen Feuchtetransportvorgänge im Holz darf die relative Feuchte der Umgebungsluft für einige Wochen pro Jahr den Wert von 65 % übersteigen, was bei längerem Anhalten zu einer höheren Ausgleichsfeuchte führen würde. Die NKL 1 ist z. B. für übliche Aufenthaltsräume anzunehmen.

In die **NKL 2** sind Bauteile einzustufen, die sich in **offenen, aber überdeckten Bauwerken** befinden und somit der unmittelbaren Bewitterung (Regen) nicht ausgesetzt sind. Da die Definition der Nutzungsklassen indirekt über die sich einstellende Holzfeuchte geregelt ist, sind auch geschlossene Bauten in die NKL 2 einzuordnen, wenn die mittlere Holzfeuchte von Nadelhölzern eine Ausgleichsfeuchte von bis zu 20 % erreicht. Wegen der sehr langsamen Feuchtetransportvorgänge im Holz darf die relative Feuchte der Umgebungsluft für einige Wochen pro Jahr den Wert von 85 % übersteigen, was wiederum bei längerem Anhalten zu einer höheren mittleren Feuchte als 20 % führen würde.

In die **NKL 3** müssen alle Bauteile eingestuft werden, bei denen die Bedingungen für die NKL 1 und 2 nicht erfüllt sind, z. B. bei der **Witterung ungeschützt ausgesetzten Bauteilen**. Bei Bauwerken wie bei Kompostieranlagen kann es erforderlich werden, dass Bauteile auch im Innern von Gebäuden der NKL 3 zugeordnet werden müssen.

Tabelle 2.4: Grobe Einordnung der Nutzungsklassen

Nutzungsklasse 1	Nutzungsklasse 2	Nutzungsklasse 3
innen beheizt	überdacht offen	direkt bewittert

In Sonderfällen sind Teilbereiche einer Konstruktion verschiedenen Nutzungsklassen zuzuweisen.

2.4 Widerstände

Für die Nachweise der Tragfähigkeit von Bauteilen werden aus den charakteristischen Festigkeitskennwerten (Index k) durch Multiplikation mit dem Modifikationsbeiwert k_{mod} nach Tabelle 2.5 und Division durch den Teilsicherheitsbeiwert für Holz und HW nach Tabelle 2.6 die Widerstände bzw. Beanspruchbarkeiten in Form der Bemessungswerte der Festigkeiten (Index d) ermittelt. Grundsätzlich gilt, dass der Einfluss von Holzfeuchte und Lastdauer auf das Tragverhalten mit k_{mod} berücksichtigt wird und die Streuung der Materialeigenschaften, die Modellunsicherheiten und die angestrebten Sicherheitsabstände auf der Widerstandsseite mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{M} in die Tragfähigkeitsberechnung eingehen. Der Bemessungswert X_{d} einer Festigkeit berechnet sich somit zu:

$$\boxed{X_{\mathrm{d}} = \frac{k_{\mathrm{mod}} \cdot X_{\mathrm{k}}}{\gamma_{\mathrm{M}}}}$$

Hierbei ist X_{k} der charakteristische Wert einer Festigkeitskenngröße oder Baustoffeigenschaft. Dieser entspricht bei Festigkeiten und Rohdichten den 5 %-Quantilwerten und bei Steifigkeiten den Mittelwerten (Ausnahme: Ersatzstabverfahren!) der statistisch ausgewerteten Grundgesamtheit.

Die charakteristischen Festigkeitskennwerte X_{k} sind einer Baustoffnorm (z. B. Vollholz: DIN EN 338 [N14], BSH: DIN EN 14080 [N22] sowie für Holzwerkstoffe die Normreihe DIN EN 12369 [N19]) oder einer BZ zu entnehmen.

Bei den zimmermannsmäßigen Versatzverbindungen ist die Beanspruchbarkeitsermittlung analog durchzuführen, da sich die Tragfähigkeiten bei Versätzen über die Festigkeiten der miteinander verbundenen Baustoffe berechnen lassen. Für die Ermittlung von Bemessungswerten aus charakteristischen Werten bei Stift-, Dübel- und Klebverbindungen sowie bei Ausklinkungen, Durchbrüchen und Verstärkungen sind die Regelungen der entsprechenden Abschnitte des EC5 zu berücksichtigen.

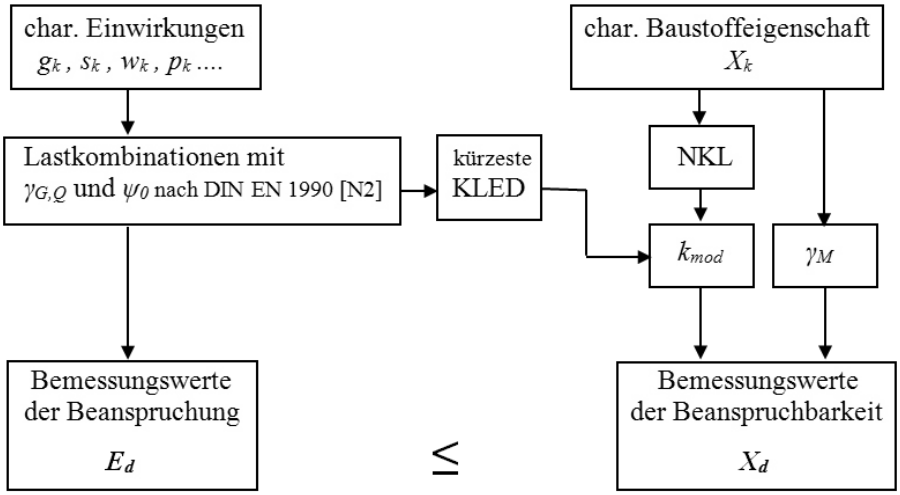

Bild 2.1: Ablauf der Bemessung beim Nachweis der Tragfähigkeit (ULS)

Der im Bild 2.1 zu erkennende Einfluss des Modifikationsbeiwertes k_{mod} auf den Bemessungswert der Festigkeitseigenschaft X_d kann wegen seiner Abhängigkeit von der KLED bewirken, dass eine Einwirkungskombination maßgebend wird, die nicht den maximalen Bemessungswert der Beanspruchung liefert. So kann beispielsweise die Lastfallkombination mit der zweitgrößeren Schnittgröße aufgrund eines kleineren k_{mod} – resultierend aus der größeren, kürzesten KLED der kombinierten Lastanteile – durchaus zu einem höheren Auslastungsgrad eines Tragfähigkeitsnachweises führen.

Tabelle 2.5: Rechenwerte für die Modifikationsbeiwerte k_{mod}

Baustoff	Norm	NKL	KLED				
			ständig	lang	mittel	kurz	sehr kurz
Vollholz BSH BASH FSH BSPH SPH	EN 14081-1 EN 14080 EN 14279 EN 636	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB/2	EN 300	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
OSB/3, OSB/4		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Spanplatten	EN 312	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Holzfaserplatte hart	EN 622-2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Holzfaserplatte mittelhart MDF	EN 622-3 EN 622-5	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	–	–	–	0,45	0,80
Gipsplatten	DIN 18180 EN 15283-2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	0,15	0,30	0,45	0,60	0,80
zementgebundene Spanplatten		1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80

Tabelle 2.6: Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für Baustoffeigenschaften in ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen

Holz und HW	Stahl in Verbindungen	
	auf Biegung beanspruchte stiftförmige VM	Tragfähigkeits-Plattennachweis bei Nagelplatten
1,3	1,3	1,25

2.5 Grenzzustände

Eine zutreffende Modellierung des Trag- und Verformungsverhaltens des Tragwerks in den Grenzzuständen setzt voraus, dass die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit des Tragwerks (siehe Kapitel 4) erfüllt sind.

Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)

Grenzzustände der Tragfähigkeit sind Zustände, deren Überschreiten rechnerisch zu Einsturz oder ähnlichen Arten des Tragwerksversagens führt. Sie werden in den Kapiteln 8 bis 12 behandelt. Außergewöhnliche Bemessungssituationen wie Anprall und Erdbeben werden nachfolgend nicht berücksichtigt. Erläuterungen zum Lastfall Brand können dem Kapitel 5 entnommen werden.

Der Grenzzustand der Tragfähigkeit $E_d \leq R_d$ wird meistens als

Ausnutzungsgrad $\eta = E_d/R_d \leq 1$ formuliert.

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

Für die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit sind die Verformungen infolge der charakteristischen Einwirkungen mit empfohlenen oder selbst festgelegten Grenzwerten zu vergleichen. Dabei werden die seltene und die quasi-ständige Bemessungssituation unterschieden:

- *seltene Bemessungssituation*: Die empfohlenen oder selbst festgelegten Grenzwerte sollen Schäden an nicht tragenden Bauteilen oder Einbauten verhindern.
- *quasi-ständige Bemessungssituation*: Die empfohlenen oder selbst festgelegten Grenzwerte sollen die allg. Benutzbarkeit und das Erscheinungsbild sicherstellen.

Alle Teilsicherheitsbeiwerte aufseiten der Beanspruchungsermittlung betragen 1 bzw. dürfen vernachlässigt werden, was die Aussage rechtfertigt, dass hier prinzipiell weiterhin das alte, globale Sicherheitskonzept angewendet wird. Zur Berücksichtigung der holzbauspezifischen Kriechverformungen beim Durchbiegungsnachweis ist zur Ermittlung des Bemessungswertes der Durchbiegung unter ständigen oder quasi-ständigen Lasten der Verformungsbeiwert k_{def} zu berücksichtigen.

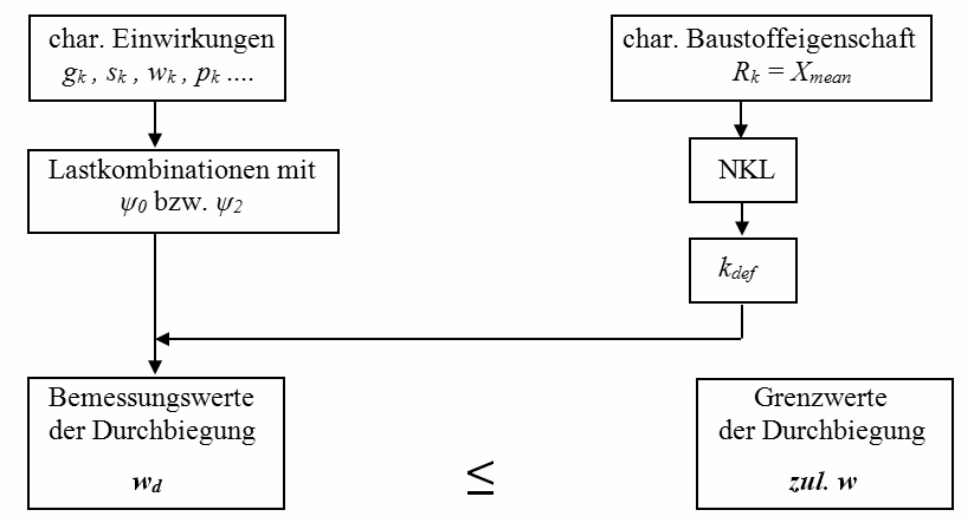

Bild 2.2: Ablauf der Bemessung beim Nachweis der Durchbiegung

Die Berücksichtigung des Einflusses unterschiedlicher Lasteinwirkungsdauern findet bei den Gebrauchstauglichkeitsnachweisen für jede Einwirkung getrennt statt. Dies ist notwendig, da ständige Lasten in gesamter Größe und Veränderliche nur mit dem ψ_2-fachen Anteil („quasi-ständiger“ Lastanteil) Kriechverformungen erzeugen.

Außer dem Durchbiegungsnachweis sieht der EC5 [N1] noch einen vereinfachten Schwingungsnachweis bei Decken unter Wohnräumen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit vor (siehe [N1-1] – 7.3.3). Die Gebrauchstauglichkeitsnachweise werden in Kapitel 13 behandelt.

3 Baustoffe

3.1 Allgemeines

Holz ist ein natürlicher, organischer, aus Zellen aufgebauter Stoff. Alle Holzarten weisen weitgehend eine ähnliche Zusammensetzung der Zellwandsubstanz auf. Die artspezifischen Unterschiede werden im Wesentlichen durch die Porosität und die Inhaltsstoffe bestimmt, die Farbe, Geruch, natürliche Dauerhaftigkeit und chemische Reaktionsfähigkeit der jeweiligen Holzart beeinflussen.

Tabelle 3.1: Besondere Holzeigenschaften und ihre bautechnische Berücksichtigung

Eigenschaft	Berücksichtigung
Streuungen	durch Verwendung eines charakteristischen Kennwertes f_k und eines Teilsicherheitsbeiwertes γ_M für das Material
Anisotropie	durch Unterscheidung der Eigenschaften nach Beanspruchung $\parallel$ oder $\perp$ zur Faser, gegebenenfalls auch unter Winkel α zur Faser
Hygroskopizität	durch Berechnung von Schwind- und Quellverformungen und durch konstruktive Maßnahmen
Feuchtegehalt	durch Modifikationsbeiwert k_{mod} und Verformungsbeiwert k_{def}
Belastungsabhängigkeit	durch Modifikationsbeiwert k_{mod} und Verformungsbeiwert k_{def}
Wuchseigenschaften	bei der Holzsortierung

Die Eigenschaftswerte streuen auch innerhalb einer Holzart in zum Teil weiten Grenzen. Deshalb kommt einer zuverlässigen Sortierung des Bauholzes für seinen wirtschaftlichen und hinsichtlich der Tragfähigkeit zuverlässigen Gebrauch besondere Bedeutung zu.

Neben den Streuungen der einzelnen Eigenschaften ist bei der Verwendung des Holzes als Konstruktionsmaterial vor allem zu beachten, dass

- Holz ein anisotroper Baustoff ist, d. h. die Eigenschaften in den verschiedenen Richtungen nicht gleich sind. Für die Baupraxis werden mit ausreichender Genauigkeit die Richtungen parallel und rechtwinklig zur Faserrichtung unterschieden.
- Holz ein hygroskopischer Baustoff ist, d. h. je nach Umgebungsklima Feuchtigkeit aufnimmt oder abgibt,
- sich die Holzeigenschaften mit dem Feuchtegehalt des Holzes verändern,
- das Trag- und Verformungsverhalten des Holzes von der Belastungsdauer abhängig sein kann,
- die Wuchseigenschaften des Holzes wie Jahrringbreite, Ästigkeit und Faserneigung bei seinem Einsatz als Konstruktionsmaterial zu berücksichtigen sind.

Die Berücksichtigung und bautechnische Umsetzung dieser Besonderheiten des Baustoffes Holz sind in Tabelle 3.1 angegeben.

Zur vereinfachten Berücksichtigung von Feuchtegehalt und Belastungsdauer auf Festigkeit und Steifigkeit von Holzbauteilen sind Klassen der Lasteinwirkungsdauer (siehe Tabelle 2.3) und Nutzungsklassen (siehe Abschnitt 2.3) definiert worden. Bei Lastkombinationen ist die Last mit der kürzesten Einwirkungsdauer für die Festlegung des Modifikationsbeiwertes k_{mod} maßgebend.

Eine kurz gefasste Beschreibung der Struktur von Laub- und Nadelholz sowie der Wuchseigenschaften ist im Beitrag A4 in STEP 1, [4] und [34] gegeben.

Die nachfolgende Beschreibung der **Holzwerkstoffe** gliedert sich nach dem zunehmenden Maß der Auftrennung und Zerkleinerung des Stammholzes.

Durch die Herstellweisen der verschiedenen Holzwerkstoffe können die Eigenschaften des Ausgangsmaterials verändert, homogenisiert und daher besser genutzt werden. Mit den plattenförmigen Holzwerkstoffen wird der Übergang von bisher nur stabförmigen Holzbauteilen zu flächenförmigen Bauteilen ermöglicht.

Tabelle 3.2: Übersicht Holzwerkstoffe

Auftrennen des Stammes in	Kurzbeschreibung	Holzwerkstoff	Abk.	charakteristische Werte in
Bretter	kreuzweise Verklebung, Deckschichten eventuell auch aus HW-Platten	Brettsperrholz	BSPH	BZ
Furniere	Furnierblätter gestoßen und verklebt; alle Lagen faserparallel oder ca. 20 % der Lagen quer verlaufend	Furnierschichtholz Laminated Veneer Lumber (LVL)	FSH	BZ
	Furniere abwechselnd mit um 90° gedrehter Faserrichtung verklebt	Sperrholz Plywood	SPH	BZ oder EN 12369-2
Furnierstreifen	Furnierstreifenbündel zu Balken verklebt	Furnierstreifenholz Parallel Strand Lumber (PSL)		BZ
Streifen (strands)	kurze Streifen in Mittelschicht quer, in Deckschichten längs orientiert verklebt	OSB Oriented Strand Board	OSB	BZ oder EN 12369-1
	lange Streifen längs orientiert verklebt	Streifenholz Laminated Strand Lumber (LSL)		BZ
Späne	Ausgangsmaterial Holzspäne	Spanplatten	SP	BZ oder EN 12369-1
Fasern	Ausgangsmaterial Holzfasern	Faserplatten	FP	BZ oder EN 12369-1

3.1.1 Holzfeuchte

Der porige, hygroskopische Baustoff Holz besitzt auch als „toter Baum“ die Eigenschaft, je nach Umgebungsbedingungen Wasser in dampfförmiger und/oder flüssiger Form aufzunehmen oder abzugeben. Die beschreibende Eigenschaft nennt man die Holzfeuchte, welche mit den Bedingungen der Umgebung korrespondiert. Die Holzfeuchte u wird aus der Masse m_ω im feuchten Zustand und der Masse m_0 im darrtrockenen Zustand wie folgt berechnet:

$$u = \frac{m_\mathrm{u} - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad \text{in \%} \quad \text{mit}$$

m_u Masse feucht (Holzfeuchte u %)
m_0 Masse darrtrocken (Holzfeuchte 0 %)

Im darrtrockenen Zustand weist Holz einen Feuchte u von praktisch 0 % auf. Die darrtrockene Holzmasse gewinnt man, indem man das Holz in einem Ofen bis zur Gewichtskonstanz trocknet (Darren). Da die Masse des aufgenommen Wassers besonders bei leichten Nadelhölzern die darrtrockene Holzmasse übersteigen kann, sind Holzfeuchten von über 100 % möglich.

DIN 4074 [N5] unterscheidet im Hinblick aus Schädlingsbefall:

- frisches Bauholz Holzfeuchte > 30 %
- halbtrockenes Bauholz Holzfeuchte 20–30 %
- trockenes Bauholz Holzfeuchte < 20 %

In einem konstanten Umgebungsklima stellt sich nach ausreichend langer Anpassungszeit im Holz die zugehörige Ausgleichsfeuchte u_ψ ein, bei der Holz weder Feuchte an die umgebende Luft abgibt noch Feuchte aus der umgebenden Luft aufnimmt.

Für Holzbauwerke gelten folgende Normalwerte der Gleichgewichtsfeuchte:

9 ± 3 %	Holzfeuchte für allseitig geschlossene Bauwerke mit Heizung
12 ± 3 %	Holzfeuchte für allseitig geschlossene Bauwerke ohne Heizung
15 ± 3 %	Holzfeuchte für überdeckte, offene Bauwerke
18 ± 6 %	Holzfeuchte für allseitig der Witterung ausgesetzte Bauwerke

Grundsätzlich ist bei der Holzfeuchte nach freiem Wasser innerhalb der Holzhohlräume und gebundenem Wasser in den Zellwänden zu unterscheiden. Als gebundenes Wasser bezeichnet man Wasser, das molekular gebunden ist, sowie das Wasser innerhalb der Zellen, das durch Haftungskräfte an die Zellwände gebunden ist.

Die Wasserdampfaufnahme des gebundenen Wassers beginnt mit der Chemosorption, eine Wechselwirkung zwischen den OH-Gruppen der Zellulose und den Wasserdipolen (bis etwa 8 %). Daran anschließend geschieht die Adsorption von H_2O-Molekülen auf der Faseroberfläche durch Wasserstoffbrückenbindungen. Hierdurch lassen sich etwa weitere 7 % H_2O adsorbieren. Darüber hinaus findet nur noch Kapillarkondensation zwischen den Zellulosefasern der Zellwände statt, die bis zum sogenannten Fasersättigungspunkt geht.

Am Fasersättigungspunkt sind die Zellwände mit Wasser gesättigt, wobei jedoch noch kein freies Wasser innerhalb der Holzhohlräume auftritt. Diesen Punkt erreichen die europäischen Hölzer bei etwa 28 bis 30 % Holzfeuchte. Der Fasersättigungspunkt ist für die bautechnischen Holzeigenschaften von großer praktischer Bedeutung. Es darf angenommen werden, dass sich unterhalb des Fasersättigungspunktes praktisch alle wichtigen Holzeigenschaften mit der Holzfeuchte ändern, wohingegen die Holzeigenschaften bei Holzfeuchten oberhalb des Fasersättigungspunktes ihre Abhängigkeit von der Holzfeuchte verlieren und als nahezu konstant angenommen werden können.

Mit abnehmender Holzfeuchte erhöhen sich unterhalb des Fasersättigungspunktes beispielsweise:

– die elastischen Eigenschaften,

– die Festigkeitseigenschaften und

– die Wärmedämmungseigenschaften.

Für Holzfeuchten zwischen 8 und 20 % kann näherungsweise ein linearer Zusammenhang zwischen der Feuchte und den Holzeigenschaften angenommen werden. Werte zur Abschätzung des Feuchtigkeitseinflusses auf die mechanischen Eigenschaften des Holzes finden sich in der nachfolgenden Tabelle 3.3.

Tabelle 3.3: Änderung der Eigenschaften von fehlerfreiem Holz je % Holzfeuchteänderung (Basis sind die Holzeigenschaften bei einem Feuchtegehalt von 12 %)

Eigenschaft	Änderung in %
Druck in Faserrichtung	6
Druck rechtwinklig zur Faserrichtung	5
Biegung	4
Zug in Faserrichtung	2,5
Zug rechtwinklig zur Faserrichtung	2
Schub rechtwinklig zur Faserrichtung	2,5
Schlagzähigkeit	0,5
Elastizitätsmodul in Faserrichtung	1,5

Der Einfluss der Holzfeuchte auf das Festigkeitsverhalten ist durch die Wirkung des gebundenen Wassers erklärbar. Die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den einzelnen Zellulosemolekülen werden gelockert, dadurch erfolgt eine Abnahme der Holzfestigkeit.

Nach DIN EN 384 [N16] verringert bzw. erhöht sich die Rohdichte des Holzes um 0,5 % je Prozent Holzfeuchteänderung, falls die vorhandene Holzfeuchte von der Bezugsholzfeuchte (12 %) abweicht.

Zur Bestimmung der Holzfeuchte bedient man sich

- des exakten Verfahrens durch Messen und Wiegen von Proben im feuchten Zustand und nach Trocknung bei etwa 100 °C im darrtrockenen Zustand oder
- des indirekten und schnellen Verfahrens durch Messen des spezifischen elektrischen Widerstandes des Holzes mit einer Messgenauigkeit von etwa ± 2 % im Holzfeuchtebereich von 6 % bis 30 %.

3.1.2 Schwind- und Quellmaße

Im hygroskopischen Bereich mit $u \leq 30$ % verursachen Feuchteänderungen nicht nur Veränderungen der Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften, sondern es treten auch Änderungen der Form und der Abmessungen des betrachteten Holzkörpers auf. Diese Vorgänge werden als Quellen und Schwinden und somit als das „Arbeiten“ des Holzes bezeichnet. Beim Quellen handelt es sich um eine Volumenausdehnung, wohingegen das Schwinden eine Verkleinerung des Volumens bezeichnet. Das Schwind- und Quellverhalten wird in erheblichem Maße von der Rohdichte des Holzes beeinflusst, da mit steigender Rohdichte der Gehalt an Zellmaterial und somit die Feuchteaufnahmefähigkeit für gebundenes Wasser ansteigt. Das Volumen der Zellhohlräume hingegen bleibt bei Schwind- bzw. Quellvorgängen nahezu konstant.

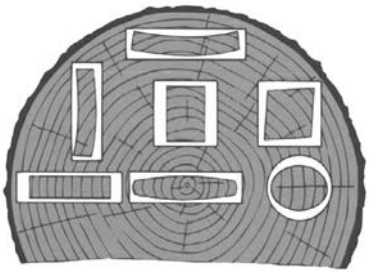

Bild 3.1: Schwind-Verformungen

Quellen und Schwinden sind in tangentialer Richtung am größten, in radialer Richtung etwa halb so groß und in longitudinaler Richtung sind sie derart gering, dass sie in baupraktischen Berechnungen in der Regel vernachlässigt werden dürfen.

Folgende Richtwerte für die Quell- und Schwindmaße in die verschiedenen Richtungen können für Nadelholz angenommen werden:

Tabelle 3.4: Quell- und Schwindmaße in % je % Holzfeuchteänderung

longitudinal	radial	tangential	volumenmäßig
0,01	0,12	0,24	0,37

Die Abmessungen des Holzes verändern sich, wie in Bild 3.1 beispielhaft angegeben, annähernd linear mit der Feuchte im Bereich zwischen 0 und 30 % Holzfeuchte. In diesem Bereich können feuchtebedingte Verformungen berechnet werden mit der Formel:

$$h_2 = h_1 \cdot \left[1 + \frac{\beta}{100} \cdot \left(u_2 - u_1 \right) \right],$$