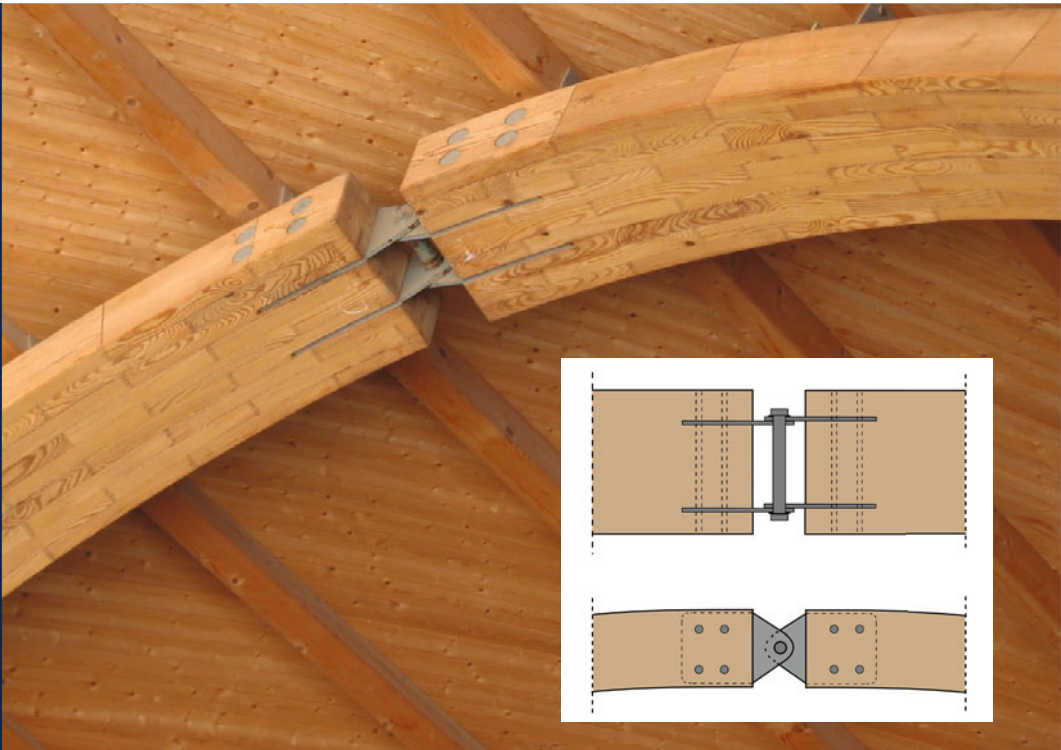


Ingenieurholzbau

Basiswissen: Tragelemente und Verbindungen

Werner Seim, Johannes Hummel

Bauingenieur-Praxis



Ingenieurholzbau

Ingenieurholzbau

Basiswissen:
Tragelemente und Verbindungen

Werner Seim und Johannes Hummel

Mit Beiträgen von Timo Claus, Lars Eisenhut, Michael Schick und Tobias Vogt

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Werner Seim

Fachgebiet Bauwerkserhaltung und Holzbau
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
Universität Kassel
Kurt-Wolters-Straße 3
34125 Kassel
Deutschland

Dr.-Ing. Johannes Hummel

Saarlandstraße 4
34131 Kassel
Deutschland

Titelbild

Mercado Santa Caterina, Barcelona
(Foto und Grafik: Werner Seim)

■ Alle Bücher von Ernst & Sohn werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2019 Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Print ISBN 978-3-433-03232-9

ePDF ISBN 978-3-433-60926-2

ePub ISBN 978-3-433-60927-9

oBook ISBN 978-3-433-60925-5

Umschlaggestaltung Stefanie Eckert-Kimmig, stilvoll

Satz le-tex publishing services GmbH, Leipzig

Inhaltsverzeichnis

Vorwort IX

Abkürzungsverzeichnis XI

1	Holz als Konstruktionswerkstoff	1
1.1	Bauen mit Holz – Vorteile und Herausforderungen	1
1.2	Mechanische Eigenschaften von Vollholz	2
1.2.1	Einfluss der Faserrichtung	3
1.2.2	Festigkeiten von Vollholz	3
1.2.3	Verformungseigenschaften von Holz	5
1.2.4	Einfluss der Belastungsdauer und der Feuchte	7
1.3	Holzprodukte	9
1.3.1	Konstruktionsvollholz und Balkenschichtholz	9
1.3.2	Brettschichtholz (BSH)	10
1.3.3	Brettsperrholz	11
1.4	Holzwerkstoffe	12
1.4.1	Furnierschichtholz	12
1.4.2	Sperrholz	13
1.4.3	Oriented-Strand-Board-Platten (OSB-Platten)	13
1.4.4	Spanplatten	14
1.4.5	Faserplatten	15
2	Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit stabförmiger Bauteile	17
2.1	Grundlagen der Bemessung	17
2.1.1	Einwirkungskombinationen	18
2.1.2	Modifikationsbeiwerte und Verformungsbeiwerte	19
2.2	Biegung	20
2.3	Schub	22
2.4	Torsion und Rollschub	24
2.5	Stabilität	24
2.5.1	Knicken – Ersatzstabverfahren	26
2.5.2	Kippen – Ersatzstabverfahren	29
2.5.3	Biegedrillknicken	35
2.5.4	Berechnungen nach Theorie II. Ordnung	35
2.6	Zug und Biegung	36

2.7	Querdruck	38
2.8	Querzug	38
2.8.1	Allgemeines	38
2.8.2	Queranschlüsse	39
2.8.3	Ausklinkung	40
2.9	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	42
2.9.1	Durchbiegungen	42
2.9.2	Schwingungen	44
3	Anschlüsse und Verbindungen	45
3.1	Allgemeines	45
3.2	Kontakt	46
3.2.1	Druck rechtwinklig zur Faser	46
3.2.2	Druck unter einem Winkel zur Faserrichtung	49
3.3	Stiftförmige Verbindungsmittel	50
3.3.1	Überblick	50
3.3.2	Zusammenwirken und Verformungsverhalten	50
3.3.3	Grundlagen der Berechnung bei Beanspruchung auf Abscheren	54
3.3.4	Holz-Holz- und Holz-Holzwerkstoff-Verbindungen – Abscheren	57
3.3.5	Holz-Holz- und Holz-Holzwerkstoff-Verbindungen – Abscheren, vereinfachtes Verfahren	59
3.3.6	Stahlblech-Holz-Verbindungen – Abscheren	59
3.3.7	Stahlblech-Holzverbindungen – Abscheren, vereinfachtes Verfahren	61
3.4	Stabdübel/Passbolzen	62
3.5	Nägeln und Klammern	66
3.5.1	Begriffe und Definitionen	66
3.5.2	Konstruktive Regeln für Nägel	68
3.5.3	Konstruktive Regeln für Klammern	71
3.5.4	Tragfähigkeit	72
3.6	Dübel besonderer Bauart	76
3.6.1	Tragwirkung	76
3.6.2	Konstruktive Regeln	77
3.6.3	Tragfähigkeit	78
3.7	Geschraubte Verbindungen	84
3.7.1	Begriffe und Definitionen	84
3.7.2	Entwurf geschraubter Verbindungen	86
3.7.3	Tragfähigkeit	89
3.7.4	Anwendungsbeispiele und Ausführung	92
3.8	Blockscheren	92
4	Bauteile und Konstruktionsregeln	97
4.1	Dach-, Decken- und Wandkonstruktionen	97
4.1.1	Geneigte Dächer	97
4.1.2	Flachdächer	99
4.1.3	Decken	102
4.1.4	Wände	106

- 4.2 Brettschichtholzträger 111
 - 4.2.1 Pultdachträger 111
 - 4.2.2 Satteldachträger 115
 - 4.2.3 Gekrümmte Träger und Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt 116
- 4.3 Aussteifungsregeln und Konstruktionsdetails 117
 - 4.3.1 Grundlagen 117
 - 4.3.2 Dächer 119
 - 4.3.3 Skelettbau 123
 - 4.3.4 Decken und Wände 132
 - 4.3.5 Lastaufteilung 132
- 4.4 Holztafelbauweise 134
 - 4.4.1 Allgemeines 134
 - 4.4.2 Wandelemente 135
 - 4.4.3 Deckenelemente 139
 - 4.4.4 Anschlussdetails 141
- 5 Dauerhaftigkeit 143**
 - 5.1 Grundsätze und Definitionen 143
 - 5.2 Sichere Konstruktionen 146
 - 5.3 Konstruktiver Holzschutz 147
 - 5.4 Dauerhafte Hölzer 150
 - 5.5 Chemischer Holzschutz 151
 - 5.6 Korrosionsschutz 152
- 6 Brandschutz 155**
 - 6.1 Einführung 155
 - 6.2 Begriffe und rechtliche Regelungen 156
 - 6.2.1 Vorschriften zum Brandschutz 156
 - 6.2.2 Gebäudeklassen 158
 - 6.2.3 Anforderungen an Bauteile und Baustoffe 159
 - 6.2.4 Baustoffklassen und Feuerwiderstandsdauer 160
 - 6.2.5 Kapselung von Holztafelkonstruktionen 162
 - 6.3 Nachweis der Feuerwiderstandsdauer 162
 - 6.3.1 Tragsicherheit des Restquerschnittes – „Warme Bemessung“ 162
 - 6.3.2 Verbindungsmittel 165
- 7 Rechenbeispiele 169**
 - 7.1 Referenzobjekte 169
 - 7.2 Holzhaus 170
 - 7.2.1 Einwirkungen 170
 - 7.2.2 Sparren – Biegung ohne Normalkraft 174
 - 7.2.3 Sparren – Schub 176
 - 7.2.4 Sparren – Auflagerpressung 177
 - 7.2.5 Druckbeanspruchte Stütze 181
 - 7.2.6 Anschluss Pfette/Stütze 184
 - 7.2.7 Holzbalkendecke 185

VIII | *Inhaltsverzeichnis*

7.3	Lagerhalle	187
7.3.1	Einwirkungen	187
7.3.2	Koppelfette – zweiachsige Biegung	190
7.3.3	Koppelfette – Auflagerpressung	193
7.3.4	Binder – Biegung	195
7.3.5	Wandverband – Anschluss Strebe/Stütze	198
7.3.6	Eingespannte Stütze – Tragfähigkeit Verbindungsmittel	203
7.3.7	Eingespannte Stütze – Schubspannungen im Anschlussbereich	208
7.3.8	Eingespannte Stütze – Stabilität	210
7.3.9	Eingespannte Stütze – Gebrauchstauglichkeit	213

Verzeichnis der Normen und Regelwerke 215

Verzeichnis der Bildquellen 217

Stichwortverzeichnis 219

Vorwort

Der Holzbau zählt seit einigen Jahren zu den innovativsten Bereichen des Bauwesens. Das betrifft Entwicklungen bei den Konstruktionswerkstoffen und in der Verbindungstechnik sowie die Herstellungstechnologie und die Baustellenlogistik gleichermaßen. Das vorliegende Buch zielt darauf ab, die wesentlichen Kenntnisse und Kompetenzen zu vermitteln, die für den Entwurf, die Bemessung und die Konstruktion von Holztragwerken für typische Bauwerke des Hochbaus erforderlich sind. Ein besonderer Schwerpunkt wird dabei auf die Besonderheiten von Holz und Holzwerkstoffen gegenüber anderen Konstruktionswerkstoffen gelegt. Das betrifft die zahlreichen Vorteile – das vergleichsweise geringe Gewicht und die gute Bearbeitbarkeit des leistungsfähigen Werkstoffs –, aber auch die Herausforderungen, die aus der Materialanisotropie und der Anfälligkeit gegenüber natürlichen Schädlingen herrühren, sowie die Verbindungstechnik. Dabei werden ganz gezielt die wesentlichen Phänomene im Zusammenhang mit normativen Regelungen vorgestellt und anschaulich erläutert. Es werden neben den klassischen statisch-konstruktiven Themen auch baukonstruktive Aspekte in den Blick genommen. In einem abschließenden Kapitel wird die Anwendung der wichtigsten Bemessungsregeln anhand von zwei Referenzprojekten veranschaulicht.

Die Fülle spannender und interessanter Aufgaben, für die mit dem Werkstoff Holz kreative und innovative Lösungen erarbeitet werden können, bringt es mit sich, dass zahlreiche für den modernen Holzbau wichtige Themen nicht berücksichtigt werden konnten. Dazu gehören u. a. Brettsperholz, Verbundbauteile und formschlüssige Verbindungen sowie der Entwurf und die rechnerische Modellierung weitgespannter Hallentragwerke und Brückenkonstruktionen. Diesen Themen wird sich der zweite Band *Ingenieurholzbau – Vertiefung* widmen.

Beide Bände basieren auf Vorlesungsunterlagen, die in den vergangenen Jahren am Fachgebiet Bauwerkserhaltung und Holzbau der Universität Kassel erarbeitet wurden. Carsten Pörtner, Martin Schäfers, Heiko Koch, Lars Eisenhut, Tobias Vogt, Michael Schick und Timo Claus haben in dieser Zeit als wissenschaftliche Mitarbeiter zum Aufbau des Schwerpunkts „Holzbau“ ganz wesentlich beigetragen.

Bianca Böhmer hat eine Vielzahl handschriftlicher Notizen in Textform gebracht. Christoph Meyer, Simone Otto, Claudia Drebing, Louisa Rippien, Artur Ginz, Lisa McTaggart, Christian Umbach und Christian Hartig haben sich als stu-

dentische Mitarbeiter mit großer Sorgfalt um eine gute und einheitliche grafische Darstellung und die Überprüfung des Layouts gekümmert.

Kassel, im April 2019

Werner Seim und Johannes Hummel

Abkürzungsverzeichnis

Große lateinische Buchstaben

A	Astigkeit, Querschnittsfläche
ΔA	Dübel-Fehlfläche, Verbindungsmittel-Fehlfläche
A_{fi}	Restquerschnitt im Brandfall – Querschnittsfläche abzüglich der ideellen Abbrandtiefen
A_k	charakteristischer Wert einer außergewöhnlichen Einwirkung
A_{netto}	Nettofläche des Querschnitts
$A_{net,t}$	Nettofläche für Zugversagen des Blockquerschnitts (Blockscheren)
$A_{net,v}$	Nettofläche für Schubversagen des Blockquerschnitts (Blockscheren)
B	Biegesteifigkeit $B = E \cdot I$
BSH	Brettschichtholz
C	Mindeststeifigkeit der Aussteifungskonstruktion
E	Elastizitätsmodul
$E_{0,mean}$	Mittelwert des Elastizitätsmoduls parallel zur Faserrichtung
$E_{90,mean}$	Mittelwert des Elastizitätsmoduls rechtwinklig zur Faserrichtung
E_d	Bemessungswert der Einwirkung (unter normaler Temperatur)
$E_{d,fi}$	Bemessungswert der Einwirkung im Brandfall
E_k	charakteristischer Wert der Einwirkung
E_s	Elastizitätsmodul von Stahl
F	Kraft
$F_{90,d}$	Bemessungswert der Druckkraft an der Außenrippe einer Wandscheibe
$F_{90,Rk}$	charakteristischer Wert der Querkzugtragfähigkeit
$F_{90,Rd}$	Bemessungswert der Querkzugtragfähigkeit
$F_{ax,k}$	charakteristischer Wert der axialen Beanspruchung des Verbindungsmittels
$F_{ax,d}$	Bemessungswert der axialen Beanspruchung des Verbindungsmittels
$F_{ax,Rk}$	charakteristischer Wert der axialen Tragfähigkeit des Verbindungsmittels
$F_{ax,Rd}$	Bemessungswert der axialen Tragfähigkeit des Verbindungsmittels
$F_{bs,Rk}$	charakteristischer Wert der Tragfähigkeit gegenüber Blockscheren

$F_{f,Rd}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels bei Wandelementen
$F_{c,0,d}$	Bemessungswert der Druckkraft in Richtung der Längsachse des Bauteils
$F_{c,90,d}$	Bemessungswert der Druckkraft quer zur Faserrichtung
F_d	Bemessungswert einer Beanspruchung, Stabilisierungslast
F_i	Kraft auf Verbindungsmittel i
F_{q_1}, F_{q_2}	Druckkräfte zum Erhalt des Gleichgewichts bei Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart über Formschluss
F_t	Zugtragfähigkeit der Schraube gegenüber Stahlversagen
$F_{tens,k}$	charakteristischer Wert der Zugtragfähigkeit der Schraube gegenüber Stahlversagen
$F_{t,d}$	Bemessungswert der axialen Beanspruchung von ausziehfesten Verbindungsmitteln an Zugstößen, Bemessungswert der Zugkraft
$F_{t,d,x}$	Bemessungswert der Kraftkomponente in x -Richtung
$F_{t,d,y}$	Bemessungswert der Kraftkomponente in y -Richtung
$F_{t,d,z}$	Bemessungswert der Kraftkomponente in z -Richtung
$F_{t,0}$	Zugkraft in Richtung der x -Achse
$F_{v,Ed}$	Bemessungswert der Beanspruchung eines Verbindungsmittels auf Abscheren
$F_{v,Rk}$	charakteristischer Wert der Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels bei Beanspruchung auf Abscheren
$\Delta F_{v,Rk}$	Beitrag aus der Seilwirkung zum charakteristischen Wert der Tragfähigkeit auf Abscheren
$F_{v,Rd}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels bei Beanspruchung auf Abscheren, Bemessungswert der Tragfähigkeit der Wandscheibe gegenüber horizontalen Einwirkungen
$F_{v,\alpha,Rd}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit einer Verbindung mit Dübeln besonderer Bauart bei Beanspruchung auf Abscheren im Winkel zur Faser
$F_{v,\alpha,Rd}^b$	Bemessungswert der Tragfähigkeit des (Pass-)Bolzens bei einer Verbindung mit Dübeln besonderer Bauart unter Beanspruchung auf Abscheren im Winkel zur Faser
$F_{v,0,Rk}^c$	charakteristischer Wert der Tragfähigkeit des Dübels bei einer Verbindung mit Dübeln besonderer Bauart unter Beanspruchung auf Abscheren
$F_{v,\alpha,Rd}^c$	Bemessungswert der Tragfähigkeit des Dübels bei einer Verbindung mit Dübeln besonderer Bauart unter Beanspruchung auf Abscheren im Winkel zur Faser
$F_{x,i}^N$	Kraftkomponente eines Verbindungsmittels in x -Richtung infolge Normalkraftbeanspruchung
$F_{x,i}^M$	Kraftkomponente eines Verbindungsmittels in x -Richtung infolge Biegebeanspruchung
$F_{z,i}^M$	Kraftkomponente eines Verbindungsmittels in z -Richtung infolge Biegebeanspruchung

$F_{z,i}^V$	Kraftkomponente eines Verbindungsmittels in z -Richtung infolge Schubbeanspruchung
$F_{Z,d}$	Bemessungswert der Zugkraft an der Verankerung der Außenrippe einer Wandscheibe
G	Schubmodul
G_k	charakteristischer Wert der Einwirkung Eigengewicht
G_{mean}	Mittelwert des Schubmoduls
$H_{x,i}$	Horizontallast der in x -Richtung orientierten Wand i
$H_{y,i}$	Horizontallast der in y -Richtung orientierten Wand i
I	Flächenträgheitsmoment
I_p	polares Flächenträgheitsmoment
I_s	Trägheitsmoment einer selbstbohrenden Schraube
I_t	Torsionsträgheitsmoment
I_y	Flächenträgheitsmoment um die y -Achse
I_z	Flächenträgheitsmoment um die z -Achse
KVH	Konstruktionsvollholz
K, K_{ser}	Verschiebungsmodul
K_φ	Drehfedersteifigkeit
LH	Laubholz
M	Biegemoment, Schubmittelpunkt
M_{ap}	Biegemoment im First eines Satteldachbinders
$M_{ap,d}$	Bemessungswert des Biegemoments im First eines Satteldachbinders
M_d	Bemessungswert des Biegemoments
M_D	Drillmoment
M_s	Biegemoment im Schwerpunkt des Anschlusses
M_{tor}	Torsionsmoment am Auflager von Dachbindern
$M_{tor,d}$	Bemessungswert des Torsionsmoments am Auflager von Dachbindern
$M_{y,Rk}$	charakteristischer Wert des Fließmoments des Verbindungsmittels
N	Normalkraft
N_d	Bemessungswert der Normalkraft
$N_{pl,k}$	plastische Normalkrafttragfähigkeit einer selbstbohrenden Schraube
$N_{ki,k}$	Knicklast einer selbstbohrenden Schraube
N_s	Normalkraft im Schwerpunkt des Anschlusses
NH	Nadelholz
OSB	Oriented Strand Board
P	Last
$P_{i,z}$	Resultierende Kraft in z -Richtung in Höhe der Verbindungsmittelreihe i
Q_k	charakteristischer Wert der veränderlichen Einwirkung
$Q_{k,q}$	charakteristischer Wert der veränderlichen Einwirkung Nutzung
$Q_{k,s}$	charakteristischer Wert der veränderlichen Einwirkung Schnee
$Q_{k,w}$	charakteristischer Wert der veränderlichen Einwirkung Wind
R_d	Bemessungswert des Widerstandes
R_k	charakteristischer Wert des Widerstandes
S	Schwerpunkt

S_y	Statisches Moment um die y -Achse
T	Torsionssteifigkeit
V	Volumen
V_d	Bemessungswert der Querkraft
V_{red}	reduzierte Querkraft
V_s	Schubkraft im Schwerpunkt des Anschlusses
V_z	Querkraft in z -Richtung
W	Widerstandsmoment
$W_{ap,netto}$	Widerstandsmoment des Firstquerschnitts, ggf. unter Abzug von Fehlfächen durch eingeklebte Verstärkungen
W_{netto}	Widerstandsmoment des Nettoquerschnitts
W_{erf}	erforderliches Widerstandsmoment beim Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)
W_{fi}	Widerstandsmoment des Restquerschnitts nach Berücksichtigung der ideellen Abbrandtiefe
W_x	Einwirkende Horizontalkraft in x -Richtung
W_y	Widerstandsmoment für Biegung um y -Achse

Kleine lateinische Buchstaben

a	Abstand bzw. Überstand
a_1	Verbindungsmittelabstand in Faserrichtung, Beiwert zur Ermittlung der Kiplänge
a_2	Verbindungsmittelabstand senkrecht zur Faserrichtung, Beiwert zur Ermittlung der Kiplänge
a_3	Randabstand von Verbindungsmitteln in Faserrichtung
a_4	Randabstand von Verbindungsmitteln senkrecht zur Faserrichtung
a_{fi}	Erhöhungsmaß für die Feuerwiderstandsklassen R30/R60
a_r	Rippenabstand
b	Querschnittsbreite des Bauteils, Breite einer Wandscheibe
b_{ef}	effektive Querschnittsbreite, effektive Scheibenhöhe
b_{fi}	Breite des Restquerschnitts nach Berücksichtigung der ideellen Abbrandtiefe
b_i	Breite der Öffnung i in der Beplankung einer Holztafelwand
b_{net}	lichter Abstand zwischen den Rippen bei Holztafelwänden
b_{st}	Breite ungeschützter innen liegender Stahlbleche
c	Breite des Firstbereiches, Abminderungsfaktor für besonders schlanke Wände
c_h	Bettungsziffer für selbstbohrende Schrauben gegenüber seitlichem Ausweichen
d	Verbindungsmitteldurchmesser
d_a	Außendurchmesser von Unterlegscheiben
d_c	Durchmesser eines Dübels besonderer Bauart
d_{ef}	ideelle Abbrandtiefe

d_h	Durchmesser des Schraubenkopfes oder Durchmesser der Unterlegscheibe
d_i	Durchmesser von Ast i
e_x	Abstand der Wirkungachsen der Einwirkungen vom Steifigkeitsmittelpunkt in x -Richtung
e_y	Abstand der Wirkungachsen der Einwirkungen vom Steifigkeitsmittelpunkt in y -Richtung
$f_{ax,d}$	Bemessungswert des Ausziehparameters
$f_{ax,k}$	charakteristischer Wert des Ausziehparameters
$f_{c,0,d}$	Bemessungswert der Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung
$f_{c,0,k}$	charakteristischer Wert der Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung
$f_{c,90,d}$	Bemessungswert der Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung
$f_{c,90,k}$	charakteristischer Wert der Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung
$f_{c,\alpha,k}$	charakteristischer Wert der Druckfestigkeit für Beanspruchung im Winkel zur Faser
f_d	Bemessungswert der Festigkeit
f_{d,\bar{f}_i}	Bemessungswert der Festigkeit im Brandfall
$f_{h,k}$	charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit
$f_{h,0,k}$	charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit in Faserrichtung
$f_{h,1,k}$	charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit für Querschnitt 1
$f_{h,2,k}$	charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit für Querschnitt 2
$f_{h,\alpha,k}$	charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit unter einem Winkel zwischen Kraft und Faserrichtung
$f_{head,k}$	charakteristischer Wert des Kopfdurchziehparameters
f_k	charakteristischer Wert der Festigkeit, Drahtzugfestigkeit (Nagel oder Klammer)
$f_{m,d}$	Bemessungswert der Biegefestigkeit
$f_{m,k}$	charakteristischer Wert der Biegefestigkeit
$f_{t,0,d}$	Bemessungswert der Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung
$f_{t,0,k}$	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung
$f_{t,90,d}$	Bemessungswert der Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung
$f_{t,90,k}$	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung
$f_{v,d}$	Bemessungswert der Schubfestigkeit
$f_{v,k}$	charakteristischer Wert der Schubfestigkeit
$f_{u,k}$	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Verbindungsmittels
g	Linienlast Eigengewicht
g_x	Linienlast Eigengewicht bezogen auf die x -Achse des Bauteils
g_z	Linienlast Eigengewicht bezogen auf die z -Achse des Bauteils
h	Querschnittshöhe des Bauteils, Höhe des Wandelements
h_A	Trägerhöhe am Auflager
h_{ap}	Trägerhöhe im Firstbereich
h_c	Höhe eines Dübels besonderer Bauart
h_e	Verbindungsmittelabstand vom Bauteilrand, Einlass-/Einpresstiefe
h_{ef}	effektive Bauteilhöhe

h_i	Höhe der Öffnung i in der Beplankung einer Holztafelwand
h_{fi}	Höhe des Restquerschnitts nach Berücksichtigung der ideellen Abbrandtiefe
i	Trägheitsradius, Neigung des Anschnitts
i_m	Trägheitsradius für Kippen
k_1, k_2, k_3	Beiwerte zur Berücksichtigung von Abweichungen von der Rohdichte und den Mindestholzdicken auf die Tragfähigkeit von Dübeln besonderer Bauart
$k_{\alpha,c}$	Beiwert zur Berücksichtigung des Kraft-Faser-Winkels beim Dübel
k_c	Knickbeiwert
$k_{c,90}$	Querdruckbeiwert
k_{cr}	Beiwert zur Bestimmung der effektiven Breite
k_{crit}	Beiwert zur Berücksichtigung der Vorkrümmung des Binders
k_{def}	Verformungsbeiwert
k_{fi}	Beiwert zur Umrechnung der Festigkeit im Brandfall
k_l	Beiwert zur Berücksichtigung der Neigung des Satteldachbinders auf die Biegespannung
$k_{m,\alpha}$	Beiwert zur Abminderung der Biegefestigkeit bei angeschnittener Faser
k_{mod}	Modifikationsbeiwert für Lasteinwirkungsdauer und Feuchtegehalt
$k_{mod,fi}$	Modifikationsbeiwert im Brandfall
k_{pl}	Beiwert zur Berücksichtigung des Plattenbeulens und des Einflusses von Nebenspannungen
k_v	Abminderungsbeiwert bei Ausklinkungen
$k_{wx,i}$	Ersatz-Federsteifigkeit einer in x -Richtung orientierten Wand
$k_{wy,i}$	Ersatz-Federsteifigkeit einer in y -Richtung orientierten Wand
l	Bauteillänge bzw. Spannweite
l'	Höhe der Stütze zwischen elastischer Einspannung und Stützenkopf
l_{ap}	Länge zwischen Auflager und First
l_1, l_2	Spannweiten
l_{ef}	effektive Länge, Knicklänge, Kiplänge, Verankerungslänge, Einbinde-/Einschraubtiefe
l_k	Länge einer Auskragung
$l_{v,i}$	Länge der auf Schub beanspruchten Bereiche beim Blockscheren
$l_{t,i}$	Länge der auf Zug (in Faserrichtung) beanspruchten Bereiche beim Blockscheren
m	Masse
m_0	Masse der darrgetrockneten Holzprobe
m_u	Masse der feuchten Holzprobe
n	Anzahl von Bauteilen und Verbindungsmitteln
n_{ef}	wirksame Anzahl von Verbindungsmitteln
n_s	Anzahl der Scherflächen im Anschluss
n_x	Anzahl der Verbindungsmittel in lokaler x -Richtung
n_z	Anzahl der Verbindungsmittel in lokaler z -Richtung
q	Linienlast veränderliche Einwirkung
q_d	Linienlast Bemessungswert, Stabilisierungslast aus Dachbindern
$q_{s,x}$	Linienlast Schnee bezogen auf die x -Achse des Bauteils

$q_{s,z}$	Linienlast Schnee bezogen auf die z -Achse des Bauteils
q_w	Linienlast Wind
r_{in}	kleinster (innerster) Radius des gekrümmten Bauteils
s	Abstand der Verbindungsmittel bei Holztafelwänden
s'	dynamische Steifigkeit gegenüber Trittschall
s_d	wasserdampfäquivalente Luftschichtdicke
$s_{x,i}$	Abstand der Wand i vom Steifigkeitsmittelpunkt in x -Richtung
$s_{y,i}$	Abstand der Wand i vom Steifigkeitsmittelpunkt in y -Richtung
t	Bauteildicke, Dicke der Lamelle, Dicke der Beplankung, Dauer der Brandbeanspruchung
t_1	Dicke des Seitenholzes
t_2	Dicke des Mittelholzes
t_{ef}	wirksame Höhe beim Blockscheren
t_{pen}	Einschlagtiefe von Verbindungsmitteln
u	Holzfeuchte, Verschiebung
u_φ	Verschiebung am Stützenkopf infolge Stützenverdrehung
v	seitliche Verschiebung infolge Knickens
w	Verschiebung in z -Richtung
$w_{1\text{kN}}$	Durchbiegung unter einer Einzellast von 1 kN in Feldmitte eines Einfeldträgers
w_{ap}	größte Durchbiegung am First ohne Abzug der Überhöhung
w_c	Überhöhung
w_{creep}	Kriechverformung
w_{fin}	Enddurchbiegung
w_{inst}	Anfangsdurchbiegung
$w_{inst,G}$	Anfangsdurchbiegung infolge ständiger Lasten
$w_{inst,Q}$	Anfangsdurchbiegung infolge veränderlicher Lasten
$w_{net,fin}$	Enddurchbiegung ohne Berücksichtigung einer Überhöhung
w_H	horizontale Auflageverschiebung bei einem gekrümmten Träger
x_i	Abstand des Verbindungsmittels i vom Anschlusschwerpunkt in lokaler x -Richtung
x_s	x -Koordinate des Steifigkeitsmittelpunkts
y_s	y -Koordinate des Steifigkeitsmittelpunkts
z_i	Abstand des Verbindungsmittels i vom Anschlusschwerpunkt in lokaler z -Richtung

Kleine griechische Buchstaben

α	Winkel, Kraft-Faser-Winkel, Verhältnis Resthöhe zu Trägerhöhe, Winkel zwischen Faserrichtung und Schraubenachsen, Dachneigung, Faseranschnittswinkel
β	Winkel, Knicklängenbeiwert, Verhältnis der Lochleibungsfestigkeiten
β_n	ideelle Abbrandrate
γ	Winkel

γ_G	Teilsicherheitsbeiwert für eine ständige Einwirkung
γ_m	Teilsicherheitsbeiwert für die Festigkeit
$\gamma_{m,fi}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Festigkeit im Brandfall
γ_Q	Teilsicherheitsbeiwert für eine veränderliche Einwirkung
δ	Winkel
η	Ausnutzungsgrad
σ_0	Spannung in Richtung der Faser
σ_{90}	Spannung quer zur Richtung der Faser
σ_B	Biegespannung
σ_D	Druckspannung
$\sigma_{c,0}$	Druckspannung in Faserrichtung des Holzes
$\sigma_{c,90}$	Druckspannung senkrecht zur Faserrichtung des Holzes
$\sigma_{c,\alpha}$	Druckspannung im Winkel zur Faserrichtung des Holzes ($0^\circ > \alpha > 90^\circ$)
$\sigma_{c,0,d}$	Bemessungswert der Druckspannung in Faserrichtung
$\sigma_{c,90,d}$	Bemessungswert der Druckspannung senkrecht zur Faserrichtung
$\sigma_{c,\alpha,d}$	Bemessungswert der Druckspannung im Winkel zur Faserrichtung des Holzes ($0^\circ > \alpha > 90^\circ$)
$\sigma_{d,fi}$	Bemessungswert der Spannungen im Brandfall
$\sigma_{t,0}$	Zugspannung in Faserrichtung des Holzes
$\sigma_{t,0,d}$	Bemessungswert der Zugspannung in Faserrichtung
$\sigma_{t,90}$	Zugspannung quer zur Faserrichtung des Holzes
$\sigma_{t,90,d}$	Bemessungswert der Zugspannung quer zur Faserrichtung des Holzes
σ_m	Biegespannung
$\sigma_{m,d}$	Bemessungswert der Biegespannung
$\sigma_{m,0,d}$	Bemessungswert der Längsbiegespannung bei parallelgurtigen Trägern
$\sigma_{m,\alpha,d}$	Bemessungswert der Längsbiegespannung am angeschnittenen Rand
$\sigma_{m,y,d}$	Bemessungswert der Biegespannung infolge Biegung um die y -Achse
$\sigma_{m,z,d}$	Bemessungswert der Biegespannung infolge Biegung um die z -Achse
λ	Schlankheit
$\bar{\lambda}_k$	Schlankheitsgrad einer selbstbohrenden Schraube gegenüber Knicken
$\lambda_{rel,c}$	Knickschlankheit
$\lambda_{rel,m}$	Kippschlankheit
τ	Schubspannung
τ_d	Bemessungswert der Schubspannung
τ_{xz}	Schubspannung rechtwinklig zur Balkenachse
τ_{zx}	Schubspannung parallel zur Balkenachse
$\tau_{yz,d}$	Bemessungswert der Schubspannung in Richtung der y -Achse
$\tau_{xz,d}$	Bemessungswert der Schubspannung in Richtung der z -Achse
μ_m	Ausnutzungsgrad bei Pult- und Satteldachbindern für Biegung

μ_z	Ausnutzungsgrad bei Pult- und Satteldachbindern für Querszug
ψ_0	Kombinationsbeiwert für veränderliche Einwirkungen
ψ_1	Kombinationsbeiwert für veränderliche Einwirkungen
ψ_2	Kombinationsbeiwert für veränderliche Einwirkungen
ρ	Rohdichte
ρ_k	charakteristischer Wert der Rohdichte
ρ_m	Mittelwert der Rohdichte
ω_{gl}	Ausgleichsfeuchte
ϑ	Drehwinkel der Stabachse/Verdrillung

1

Holz als Konstruktionswerkstoff

1.1 Bauen mit Holz – Vorteile und Herausforderungen

Der Holzbau zählt neben dem Mauerwerksbau aus natürlichen Steinen zu den ältesten Bauweisen der Menschheit. Holz war bis zur industriellen Herstellung von Stahlerzeugnissen der einzige Baustoff, der für stabförmige auf Biegung beanspruchte Bauteile zur Verfügung stand. Im Verlauf der Geschichte entwickelten die Zimmerleute eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten für diesen leicht zu bearbeitenden Werkstoff. Holz wurde und wird für Dachkonstruktionen, Fachwerkbauten, Brücken, Schiffe und vieles mehr verwendet. Der Baustoff Holz ist in den meisten Regionen in Mittel- und Nordeuropa lokal vorhanden und kann ohne lange Transportwege vom Wald über das Sägewerk zum Einsatzort gebracht werden. Holz ist der einzige nachwachsende Rohstoff, der für Baukonstruktionen und Tragwerke genutzt wird, und verfügt über ein hervorragendes Potenzial für eine optimierte Kaskadennutzung, wie in Abb. 1.1 schematisch veranschaulicht wird.

In Deutschland sind ca. 30 % der Fläche bewaldet. Die Wälder speichern durch die Fotosynthese große Mengen CO_2 . Durch Verbrennung oder Verrottung des Holzes wird so viel CO_2 freigesetzt, wie beim Wachstum aus der Atmosphäre aufgenommen wurde. Wird Holz als Baustoff in Gebäuden oder anderen Bauwerken eingesetzt, so bleibt das CO_2 über die gesamte Nutzungsdauer des Gebäudes gebunden. Die Bewirtschaftung der Wälder folgt dem Prinzip der Nachhaltigkeit, d. h., es wird pro Jahr nur so viel Holz entnommen, wie in dieser Zeit nachwächst.

Holz, als natürlicher Werkstoff, kann unter bestimmten Umständen durch Pilze oder Insekten zerstört werden. Somit hängt die Nutzungsdauer von Bauwerken aus Holz ganz entscheidend von der Ausführungsart und dem richtigen Holzschutz ab. Dass Holzbauwerke bei richtiger Konstruktion und Pflege durchaus mehrere hundert Jahre überdauern können, zeigen die in großer Anzahl in Deutschland erhaltenen mittelalterlichen Dachkonstruktionen und Fachwerkhäuser, die teilweise über 500 Jahre alt sind.

Ein wichtiges Merkmal des Holzbaus ist die Verbindungstechnik. Neben den zimmermannsmäßigen Verbindungen entwickelten sich im 20. Jahrhundert zunehmend neue Verbindungstechniken im Holzbau. Die Entwicklung der Klebtechnik und die damit verbundene Möglichkeit, Holzquerschnitte unabhängig von den Abmessungen der Bäume herstellen zu können, hat zu einer ständigen Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten des Holzbaus geführt. Heute wer-

