

# Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Holzbauteile nach DIN EN 1995-1-1:2010-12 (EC 5) + DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08

Die aufgeführten Querschnittsnachweise gelten für tragende, gerade Holz- und Holzwerkstoffe mit konstantem Querschnitt und im Wesentlichen parallel zur Längsachse verlaufenden Holzfasern.

## 1. Grundlagen und Schnittgrößenermittlung

### Nachweisformat im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$\begin{array}{l} E_d \text{ Bemessungswert der Beanspruchung} \\ R_d \text{ Bemessungswert des Tragwiderstandes} \end{array} \quad E_d \leq R_d$$

### Einwirkungskombinationen für Grenzzustände der Tragfähigkeit nach DIN EN 1990 und NA

Bemessungssituation der Einwirkungen für die: Einwirkungskombinationen

$$\text{ständige und vorübergehende Beanspruchung } E_d \quad \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot E_{Gk,j} + \gamma_{Q,1} \cdot E_{Qk,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot E_{Qk,i}$$

$$\text{außergewöhnliche Beanspruchung } E_{da} \quad \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot E_{Gk,j} + E_{Ad} + \gamma_{QA,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot E_{Qk,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{QA,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot E_{Qk,i}$$

### Nachweisformat im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

$$\begin{array}{l} E_d \text{ Bemessungswert der Beanspruchung} \\ C_d \text{ Bemessungswert der Gebrauchstauglichkeit} \end{array} \quad E_d \leq C_d$$

### Einwirkungskombinationen für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit nach DIN EN 1990 und NA

Bemessungssituation der Einwirkungen für die: Einwirkungskombinationen

$$\text{charakteristische Kombination } E_{d,char} \quad \sum_{j \geq 1} E_{Gk,j} + E_{Qk,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{0,i} \cdot E_{Qk,i}$$

$$\text{häufige Kombination } E_{d,frequ} \quad \sum_{j \geq 1} E_{Gk,j} + \psi_{1,1} \cdot E_{Qk,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{2,i} \cdot E_{Qk,i}$$

$$\text{quasi-ständige Kombination } E_{d,perm} \quad \sum_{j \geq 1} E_{Gk,j} + \sum_{i \geq 2} \psi_{2,i} \cdot E_{Qk,i}$$

### Bestimmung des Bemessungswertes der Baustoffeigenschaft

$$\begin{array}{l} X_d \text{ Bemessungswert einer Eigenschaft} \\ X_k \text{ charakteristischer Wert einer Eigenschaft} \\ k_{mod} \text{ Modifikationsbeiwert} \\ \gamma_M \text{ Teilsicherheitsbeiwert} \end{array} \quad X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}$$

Bearbeitung:



**HSW-Ingenieure**

Tragwerksplanung und Bauphysik  
Sonderkonstruktionen im Holzbau  
Prüfingenieure für Baustatik

Prof. Dipl.-Ing. Volker Schiermeyer  
Dr.-Ing. Rainer Wiesner

Kirchstraße 8 32547 Bad Oeynhausen

Die technischen Informationen dieser Schrift entsprechen zum Zeitpunkt der Drucklegung den anerkannten Regeln der Technik. Eine Haftung für den Inhalt kann trotz sorgfältiger Bearbeitung und Korrektur nicht übernommen werden.

## ■ KLED- und Kombinationsbeiwerte $\psi_i$ für Einwirkungen auf Hochbauten

Veränderliche Einwirkungen		KLED	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
<b>Nutzlasten <math>Q_{k,N}</math>:</b>					
Kategorie A:	Wohn- und Aufenthaltsräume, Spitzböden	mittel	0,7	0,5	0,3
Kategorie B:	Büro- und Arbeitsflächen, Flure	mittel	0,7	0,5	0,3
Kategorie C:	Versammlungsräume	kurz	0,7	0,7	0,6
Kategorie D:	Verkaufsräume	mittel	0,7	0,7	0,6
Kategorie E:	Fabriken, Werkstätten, Ställe, Lagerräume	lang	1,0	0,9	0,8
Kategorie H:	nicht begehbare Dächer (nur Reparatur)	kurz	0	0	0
Kategorie T:	Treppen und Treppenpodeste	kurz	wie Kategorie, in der eingebaut		
Kategorie Z:	Zugänge und Balkone	kurz	wie Kategorie, in der eingebaut		
<b>Schnee- und Eislasten <math>Q_{k,s}</math>:</b>					
	für Orte bis NN + 1000 m	kurz	0,5	0,2	0
	für Orte über NN + 1000 m	mittel	0,7	0,5	0,2
<b>Windlasten für Hochbauten <math>Q_{k,w}</math></b>					
	Baugrundsetzungen $Q_{k,\Delta}$	kurz/sehr kurz <sup>a</sup>	0,6	0,2	0
	Anpralllasten nach DIN 1055-9	sehr kurz	-	-	-

<sup>a</sup> Bei Wind darf für  $k_{mod}$  das Mittel aus kurz und sehr kurz verwendet werden

## Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Tragwerke

	ständige Einwirkungen ( $G_k$ )	veränderliche Einwirkungen ( $Q_k$ )
	$\gamma_G$	$\gamma_Q$
günstige Auswirkung	1,00	0
ungünstige Auswirkung	1,35	1,50

## Definition der Nutzungsklassen (NKL)

Nutzungsklasse	Gleichgewichtsfeuchte	umgebende Luft (bis auf einige Wochen im Jahr)	
1	5 bis 15 % <sup>a</sup>	20°C / 65 % rel. Luftfeuchte	z.B. allseitig geschlossene und beheizte Bauwerke
2	10 bis 20 % <sup>b</sup>	20°C / 85 % rel. Luftfeuchte	z.B. überdachte, offene Bauwerke
3	12 bis 24 %		z.B. Konstruktionen, die der Witterung ausgesetzt sind

<sup>a</sup> In den meisten Nadelhölzern wird in der Nutzungsklasse 1 eine mittlere Ausgleichsfeuchte von 12 % nicht überschritten.

<sup>b</sup> In den meisten Nadelhölzern wird in der Nutzungsklasse 2 eine mittlere Ausgleichsfeuchte von 20 % nicht überschritten.

<sup>c</sup> Die Nutzungsklasse 3 schließt auch Bauwerke ein, in denen sich höhere Gleichgewichtsfeuchten einstellen.

## Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_M$ für Festigkeitseigenschaften in ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen

Baustoff	$\gamma_M$
Holz, Holz- und Gipswerkstoffe	1,3
Stahl in Verbindungen:	
auf Biegung beanspruchte stiftförmige Verbindungsmittel	1,3
auf Zug oder Scheren beanspruchte Teile beim Nachweis gegen die Streckgrenze im Nettoquerschnitt	1,3

## Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED)

Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Größenordnung der akkumulierten Dauer der charakteristischen Lasteinwirkung
ständig	länger als 10 Jahre
lang	6 Monate bis 10 Jahre
mittel	1 Woche bis 6 Monate
kurz	kürzer als eine Woche
sehr kurz	kürzer als eine Minute

Einwirkungen aus Temperatur- und Feuchteänderung sind der KLED „mittel“ zuzuordnen.

### ■ Rechenwerte für die Modifikationsbeiwerte $k_{mod}$

Baustoff und Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Nutzungsklasse		
	1	2	3
<b>Vollholz</b> Brettschichtholz Balkenschichtholz <sup>2)</sup> Furnierschichtholz Brettsperrholz <sup>2)</sup> Massivholzplatten <sup>2)</sup> Sperrholz			
ständig	0,60	0,60	0,50
lang	0,70	0,70	0,55
mittel	0,80	0,80	0,65
kurz	0,90	0,90	0,70
sehr kurz	1,10	1,10	0,90

#### OSB-Platten

(Typen OSB/3 und OSB/4 nach DIN EN 300:2006-09)

ständig	0,40	0,30	-
lang	0,50	0,40	-
mittel	0,70	0,55	-
kurz	0,90	0,70	-
sehr kurz	1,10	0,90	-

1) nur in Nutzungsklasse 1    2) nicht in Nutzungsklasse 3

Baustoff und Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Nutzungsklasse		
	1	2	3
<b>Kunstharzgebundene Spanplatten</b> <b>Zementgebundene Spanplatten</b> <b>Faserplatten - hart</b> (Typ HB.HLA2 DIN EN 622-2:2004-07) <b>OSB-Platten</b> (Typ OSB/2 <sup>1)</sup> )			
ständig	0,30	0,20	-
lang	0,45	0,30	-
mittel	0,65	0,45	-
kurz	0,85	0,60	-
sehr kurz	1,10	0,80	-

#### Faserplatten<sup>1)</sup> - mittelhart

(Typ MBH.LA2 DIN EN 622-3:2004-07)

**Gipsplatten** (Typen GKB<sup>1)</sup>, GKF<sup>1)</sup>, GKBI und GKFI nach DIN 18180)

ständig	0,20	0,15	-
lang	0,40	0,30	-
mittel	0,60	0,45	-
kurz	0,80	0,60	-
sehr kurz	1,10	0,80	-

### ■ Rechenwerte für die Verformungsbeiwerte $k_{def}$ für Baustoffe und ihre Verbindungen bei ständiger und quasi-ständiger Lasteinwirkung

Baustoff	Nutzungsklasse		
	1	2	3
<b>Vollholz<sup>1)</sup></b> Brettschichtholz Balkenschichtholz <sup>4)</sup> Furnierschichtholz <sup>2)</sup> Brettsperrholz <sup>4)</sup> Massivholzplatten	0,60	0,80	2,00
<b>Sperrholz</b> Furnierschichtholz <sup>3)</sup>	0,80	1,00	2,50
<b>OSB-Platten</b> (Typen OSB/3 und OSB/4 nach DIN EN 300:2006-09)	1,50	2,25	-

Baustoff	Nutzungsklasse		
	1	2	3
<b>Kunstharzgebundene Spanplatten</b> <b>Zementgebundene Spanplatten</b> <b>Faserplatten - hart</b> (Typ HB.HLA2 DIN EN 622-2:2004-07)	2,25	3,00	-
<b>OSB-Platten</b> (Typ OSB/2 <sup>5)</sup> )			
<b>Faserplatten<sup>5)</sup> - mittelhart</b> (Typ MBH.LA2 DIN EN 622-3:2004-07) <b>Gipsplatten</b>	3,00	4,00	-

1) Die Werte für  $k_{def}$  für Vollholz, dessen Feuchte beim Einbau im Fasersättigungsbereich oder darüber liegt und im eingebauten Zustand austrocknen kann, sind um 1,0 zu erhöhen.

2) mit allen Furnieren faserparallel

3) mit Querfurnieren

4) nicht in NKL 3 zugelassen

5) nur in NKL 1

## 2. Baustoffkennwerte

### ■ Rechenwerte für die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte für maßgebende Nadelhölzer und Laubholz nach DIN EN 338:2010-02

Festigkeitsklasse		C 24 <sup>7)</sup>	C 30 <sup>7)</sup>	D 30 <sup>8)</sup>	D 35 <sup>9)</sup>	D 40 <sup>10)</sup>	D 60 <sup>11)</sup>
Sortierklasse nach DIN 4074-1, Güteklasse nach DIN 4074-2 bzw. DIN 4074-5 <sup>3) 4) 5) 6)</sup>		S10/C24 M II	S13/C30 M I	LS10	LS10	LS10/ LS13	LS10
<b>Festigkeitskennwerte in N/mm<sup>2</sup></b>							
Biegung <sup>12)</sup>	$f_{m,k}$	24,0	30,0	30,0	35,0	40,0	60,0
Zug parallel <sup>12)</sup>	$f_{t,0,k}$	14,0	18,0	18,0	21,0	24,0	36,0
Zug rechtwinklig	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6
Druck parallel	$f_{c,0,k}$	21,0	23,0	23,0	25,0	26,0	32,0
Druck rechtwinklig	$f_{c,90,k}$	2,5	2,7	8,0	8,1	8,3	10,5
Schub und Torsion	$f_{v,k}$	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5
Rollschub <sup>2)</sup>	$f_{R,k}$	0,8	0,8	1,2	1,2	1,2	1,2
<b>Steifigkeitskennwerte in N/mm<sup>2</sup></b>							
Elastizitätsmodul parallel <sup>1)</sup>	$E_{0,mean}$	11000	12000	11000	12000	13000	17000
Elastizitätsmodul rechtwinklig <sup>1)</sup>	$E_{90,mean}$	370	400	730	800	860	1130
Schubmodul <sup>1) 2)</sup>	$G_{mean}$	690	750	690	750	810	1060
<b>Rohdichtekennwerte in kg/m<sup>3</sup></b>							
	$\rho_k$	350	380	530	540	550	700

- Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte  $E_{0,05}$ ,  $E_{90,05}$  und  $G_{05}$  gelten die Rechenwerte:  
für Nadelholz: nach DIN EN 338:  $E_{0,05} = 0,67 \cdot E_{0,mean}$  nach DIN EN 1995-1-1/NA, 3.2:  $G_{05} = 2/3 \cdot G_{mean}$   
für Laubholz: nach DIN EN 338:  $E_{0,05} = 0,84 \cdot E_{0,mean}$  nach DIN EN 1995-1-1/NA, 3.2:  $G_{05} = 2/3 \cdot G_{mean}$
- Die Rollschubfestigkeit beträgt gemäß DIN EN 1995-1-1, 6.1.7, näherungsweise das Doppelte von  $f_{1,90,k}$ .
- Diese Zuordnung gilt für trocken sortiertes Holz (TS).
- Vorwiegend hochkant biegebeanspruchte Bretter sind wie Kanthölzer zu sortieren und entsprechend zu kennzeichnen (k).
- Grundsätzlich kann Nadelholz maschinell in jede gewünschte Festigkeitsklasse sortiert werden.
- Grundsätzlich kann Laubholz maschinell in jede gewünschte Festigkeitsklasse sortiert werden.
- Holzarten: Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche, Douglasie, Southern Pine, Western Hemlock, Yellow Cedar
- Holzart: Eiche, Teak, Keruing 9) Holzart: Buche 10) Holzart: Buche, Afzelia, Merbau, Angelique (Basalocus)
- Holzart: Azobé (Bongossi), Ipe (Rohdichte mindestens 1000 kg/m<sup>3</sup>)
- Bei Vollholz mit Rechteckquerschnitt,  $\rho_k \leq 700 \text{ kg/m}^3$  und einer Querschnittsbreite bzw. -höhe  $\leq 150 \text{ mm}$  darf der charakteristische Festigkeitswert mit dem Beiwert  $k_{h1} = (150/h)^{0,2} \leq 1,3$  multipliziert werden.

### ■ Rechenwerte für die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte für homogenes (h) und kombiniertes (c) Brettschichtholz nach DIN 1052:2008-12 (Ausnahme $f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$ )

Festigkeitsklasse		GL 24		GL 28		GL 32	
frühere Bezeichnung		BS 11		BS 14		BS 16	
homogenes (h) / kombiniertes (c)		h	c	h	c	h	c
<b>Festigkeitskennwerte in N/mm<sup>2</sup></b>							
Biegung <sup>1) 2)</sup>	$f_{m,g,k}$	24,0		28,0		32,0	
Zug parallel <sup>1)</sup>	$f_{t,0,g,k}$	16,5	14,0	19,5	16,5	22,5	19,5
Zug rechtwinklig	$f_{t,90,g,k}$	0,5					
Druck parallel	$f_{c,0,g,k}$	24,0	21,0	26,5	24,0	29,0	26,5
Druck rechtwinklig	$f_{c,90,g,k}$	2,7	2,4	3,0	2,7	3,3	3,0
Schub und Torsion	$f_{v,g,k}$	3,5					
Rollschub	$f_{R,g,k}$	1,0					
<b>Steifigkeitskennwerte in N/mm<sup>2</sup></b>							
Elastizitätsmodul parallel <sup>3)</sup>	$E_{0,g,mean}$	11600	11600	12600	12600	13700	13700
Elastizitätsmodul rechtwinklig <sup>3)</sup>	$E_{90,g,mean}$	390	320	420	390	460	420
Schubmodul <sup>3) 4)</sup>	$G_{g,mean}$	720	590	780	720	850	780
<b>Rohdichtekennwerte in kg/m<sup>3</sup></b>							
	$\rho_{g,k}$	380	350	410	380	430	410

- Bei Brettschichtholzträgern mit einer Querschnittshöhe bzw. -breite  $\leq 600 \text{ mm}$  darf der charakteristische Festigkeitswert mit dem Beiwert  $k_{h1} = (600/h)^{0,10} \leq 1,1$  multipliziert werden.
- Bei Hochkant-Biegebeanspruchung der Lamellen von homogenem Brettschichtholz aus mindestens vier nebeneinander liegenden Lamellen darf der charakteristische Festigkeitswert mit dem Systembeiwert  $k_1 = 1,2$  multipliziert werden.
- Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte  $E_{0,05}$ ,  $E_{90,05}$  und  $G_{05}$  gelten die Rechenwerte:  
für Brettschichtholz: nach DIN 1052:  $E_{0,05} = 5/6 \cdot E_{0,mean}$   $E_{90,05} = 5/6 \cdot E_{90,mean}$   $G_{05} = 5/6 \cdot G_{mean}$
- Der zur Rollschubbeanspruchung gehörende Schubmodul darf mit  $G_{R,mean} = 0,10 \cdot G_{mean}$  angenommen werden.

## ■ Rechenwerte für das Schwind- und Quellmaß rechtwinklig zur Faserrichtung <sup>1)2)</sup>

Baustoff	Fichte, Kiefer, Tanne, Lärche, Eiche	Buche	Teak, Yellow Cedar	Azobé (Bongossi)
Schwind- und Quellmaß in % für Änderungen der Holzfeuchte um 1 % unterhalb des Fasersättigungsbereiches	0,25	0,30	0,20	0,36

1) In Faserrichtung des Holzes gilt ein Rechenwert von 0,01 %.

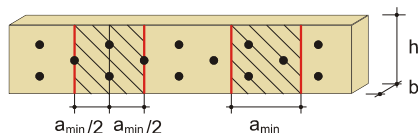
2) Die Fasersättigung darf für alle Holzarten rechnerisch bei 30 % Holzfeuchte angenommen werden.

## 3. Nachweise der Querschnittstragfähigkeit

### ■ Querschnittsschwächungen

Querschnittsschwächungen sind rechnerisch zu berücksichtigen. Nicht vorgebohrte Nagellöcher mit  $d \leq 6$  mm und nicht vorgebohrte Holzschrauben mit  $d \leq 6$  mm stellen keine Querschnittsschwächung dar. Nicht zu berücksichtigen sind Löcher in der Druckzone von Bauteilen, die mit einem Material ausgefüllt sind, dessen Steifigkeit größer ist als die des Holzes.

Bei der Bestimmung des wirksamen Querschnitts bei Verbindungen mit mehreren Verbindungsmittelreihen sind alle Löcher, die weniger als der **halbe Mindestabstand der Verbindungsmittel in Faserrichtung** vom betrachteten Querschnitt entfernt liegen, zu berücksichtigen.



### ■ Zug und Druck parallel zur Faser

Zug parallel zur Faser:

$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$	$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,0,d}}{A_n}$	$f_{t,0,d}$ $F_{t,0,d}$ $A_n$	Bemessungswert der Zugfestigkeit II zur Faser Bemessungswert der mittigen Zugkraft Nettoquerschnittsfläche
---------------------------------	------------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Druck parallel zur Faser:

$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$	$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A_n}$	$f_{c,0,d}$ $F_{c,0,d}$ $A_n$	Bemessungswert der Druckfestigkeit II zur Faser Bemessungswert der mittigen Druckkraft Nettoquerschnittsfläche
---------------------------------	------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### ■ Zug unter einem Winkel $\alpha$ zur Faser ( $\alpha \neq 0^\circ$ )

Für Sperrholz, Brettsperrholz, Massivholz- und OSB-Platten und Furnierschichtholz mit Querlagen

$\frac{\sigma_{t,\alpha,d}}{k_\alpha \cdot f_{t,0,d}} \leq 1$	$\sigma_{t,\alpha,d} = \frac{F_{t,\alpha,d}}{A_n}$	$k_\alpha = \frac{1}{\frac{f_{t,0,d}}{f_{t,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \frac{f_{t,0,d}}{f_{v,d}} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \cos^2 \alpha}$
---------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

$\alpha$  Winkel zwischen Beanspruchungsrichtung und Faserrichtung bzw. Spanrichtung der Decklagen ( $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ )

$f_{t,0,d}$  Bemessungswert der Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung

$f_{t,90,d}$  Bemessungswert der Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung

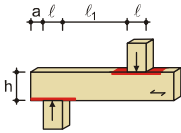
$f_{v,d}$  Bemessungswert der Schubfestigkeit

$F_{t,\alpha,d}$  Bemessungswert der Zugkraft unter dem Winkel  $\alpha$  zur Faser

$A_n$  Nettoquerschnittsfläche

### ■ Druck rechtwinklig zur Faser ( $\alpha = 90^\circ$ )

**Einzellagerung**  
(entspricht Auflagerdruck)

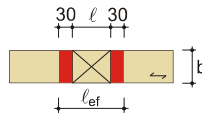


$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$f_{c,90,d}$  Bemessungswert der Druckfestigkeit  $\perp$  zur Faser

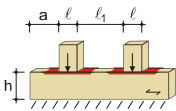
$F_{c,90,d}$  Bemessungswert der Druckkraft  $\perp$  zur Faser

$A_{ef}$  wirksame Querdruckfläche



An jedem Rand in Faserrichtung des Holzes darf die Aufstandsfläche  $\ell$  um bis zu 30 mm verlängert werden, aber um nicht mehr als  $a$ ,  $\ell$  oder  $\ell_1/2$ .

**Kontinuierliche Lagerung**  
(entspricht Schwellendruck)



$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$

$$A_{ef} = b \cdot \ell_{ef}$$

$k_{c,90} = 1,0$  für NVH und BSH  $\ell_1 < 2 \cdot h$  sowie für LH

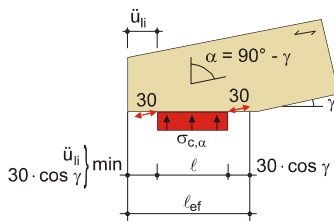
$k_{c,90} = 1,25$  für NVH mit  $\ell_1 \geq 2 \cdot h$  bei Schwellendruck

$k_{c,90} = 1,5$  für BSH mit  $\ell_1 \geq 2 \cdot h$  bei Schwellendruck, für NVH mit  $\ell_1 \geq 2 \cdot h$  bei Auflagerdruck und bei Auflagerdruck bei Auflagerknoten von Stabwerken mit indirekten Verbindungen

$k_{c,90} = 1,75$  für BSH mit  $\ell_1 \geq 2 \cdot h$  bei Auflagerdruck

### ■ Druck unter einem Winkel $\alpha$ zur Faser ( $\alpha \neq 90^\circ$ ) nach DIN EN 1995-1-1 und NA

Trägerauflager



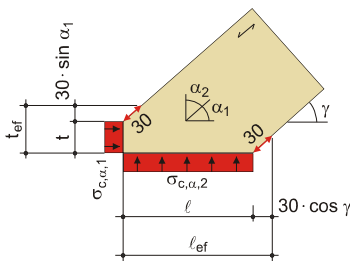
$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq f_{c,\alpha,d}$$

mit:

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A_{ef}} \quad \text{mit} \quad A_{ef} = b \cdot \ell_{ef}$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}}{f_{c,0,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = k_{c,\alpha} \cdot f_{c,0,d}$$

Kontaktanschluss



Trägerauflager:

$$A_{ef} = b \cdot \ell_{ef}$$

$$\text{mit:} \quad \ell_{ef} = \ell + \min \left\{ \begin{array}{l} \dot{u}_{ll} \\ 30 \cdot \cos \gamma \end{array} \right\} + 30 \cdot \cos \gamma$$

Kontaktanschluss:

$$A_{1,ef} = b \cdot t_{ef} \quad \text{mit} \quad t_{ef} = t + 30 \cdot \sin \gamma$$

$$A_{2,ef} = b \cdot \ell_{ef} \quad \text{mit} \quad \ell_{ef} = \ell + 30 \cdot \cos \gamma$$

$\alpha$  Winkel zwischen Beanspruchung und Faserrichtung des Holzes bzw. Spanrichtung der Decklagen ( $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ )

$F_{c,\alpha,d}$  Bemessungswert der Druckkraft im Winkel  $\alpha$  zur Faserrichtung

$A_{ef}$  wirksame Druckfläche

$f_{c,0,d}$  Bemessungswert der Druckfestigkeit II zur Faser

$f_{c,90,d}$  Bemessungswert der Druckfestigkeit  $\perp$  zur Faser

$k_{c,90}$  Beiwert siehe Druck rechtwinklig zur Faser

Abminderungsbeiwert  $k_{c,\alpha}$  für verschiedene Hölzer und Winkel mit:

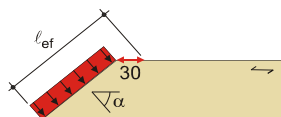
$$k_{c,\alpha} = \frac{1}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Werte siehe nachfolgende Tabelle

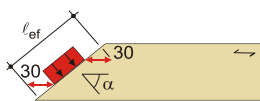
Beiwerte  $k_{c,\alpha}$  für Nadelholz, Laubholz und Brettschichtholz

$\alpha$	NH C24 $k_{c,90} =$			Laubholz $k_{c,90} = 1,0$				Beiwert $f_{c,\alpha}$ für Brettschichtholz $k_{c,90} = 1,0$						$\alpha$	
	1,0	1,25	1,50	D30	D35	D40	D60	GL 24h	GL 24c	GL 28h	GL 28c	GL 32h	GL 32c		
0°	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0°
10°	0,818	0,853	0,878	0,946	0,941	0,940	0,942	0,808	0,811	0,809	0,808	0,810	0,809	10°	
20°	0,536	0,599	0,650	0,820	0,804	0,800	0,807	0,520	0,524	0,522	0,520	0,523	0,522	20°	
25°	0,431	0,495	0,549	0,749	0,729	0,724	0,732	0,415	0,419	0,417	0,415	0,418	0,417	25°	
30°	0,351	0,412	0,465	0,681	0,657	0,652	0,661	0,336	0,340	0,338	0,336	0,339	0,338	30°	
32°	0,325	0,384	0,436	0,655	0,631	0,625	0,635	0,311	0,315	0,313	0,311	0,314	0,313	32°	
34°	0,302	0,359	0,410	0,630	0,605	0,600	0,610	0,288	0,292	0,290	0,288	0,291	0,290	34°	
35°	0,291	0,347	0,398	0,618	0,593	0,588	0,597	0,278	0,282	0,280	0,278	0,281	0,280	35°	
36°	0,281	0,336	0,386	0,607	0,581	0,576	0,586	0,268	0,272	0,270	0,268	0,271	0,270	36°	
38°	0,263	0,316	0,364	0,585	0,558	0,553	0,563	0,251	0,254	0,252	0,251	0,253	0,252	38°	
40°	0,246	0,297	0,345	0,563	0,537	0,532	0,542	0,235	0,238	0,236	0,235	0,237	0,236	40°	
42°	0,232	0,281	0,327	0,544	0,517	0,512	0,522	0,221	0,224	0,222	0,221	0,223	0,222	42°	
44°	0,219	0,266	0,311	0,525	0,498	0,493	0,503	0,208	0,211	0,209	0,208	0,210	0,209	44°	
45°	0,213	0,259	0,303	0,516	0,489	0,484	0,494	0,202	0,205	0,203	0,202	0,204	0,203	45°	
46°	0,207	0,253	0,296	0,508	0,481	0,475	0,486	0,197	0,200	0,198	0,197	0,199	0,198	46°	
48°	0,197	0,240	0,282	0,491	0,465	0,459	0,469	0,187	0,189	0,188	0,187	0,189	0,188	48°	
50°	0,187	0,230	0,270	0,476	0,450	0,444	0,454	0,178	0,180	0,179	0,178	0,180	0,179	50°	
52°	0,179	0,220	0,259	0,462	0,436	0,430	0,440	0,170	0,172	0,171	0,170	0,171	0,171	52°	
54°	0,171	0,211	0,249	0,449	0,423	0,417	0,427	0,162	0,165	0,163	0,162	0,164	0,163	54°	
56°	0,164	0,203	0,240	0,437	0,411	0,406	0,415	0,156	0,158	0,157	0,156	0,157	0,157	56°	
58°	0,158	0,196	0,232	0,426	0,400	0,395	0,404	0,150	0,152	0,151	0,150	0,151	0,151	58°	
60°	0,153	0,189	0,225	0,416	0,390	0,385	0,394	0,145	0,147	0,145	0,145	0,146	0,145	60°	
70°	0,133	0,165	0,198	0,377	0,352	0,347	0,356	0,126	0,127	0,126	0,126	0,127	0,126	70°	
80°	0,122	0,153	0,183	0,355	0,331	0,326	0,335	0,116	0,117	0,116	0,116	0,117	0,116	80°	
90°	0,119	0,149	0,179	0,348	0,324	0,319	0,328	0,113	0,114	0,113	0,113	0,114	0,113	90°	

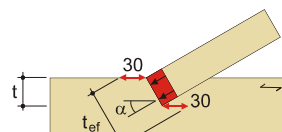
$\alpha$	Beiwert $k_{c,\alpha}$ für Brettschichtholz $k_{c,90} = 1,50$						Beiwert $k_{c,\alpha}$ für Brettschichtholz $k_{c,90} = 1,75$						$\alpha$	
	GL 24h	GL 24c	GL 28h	GL 28c	GL 32h	GL 32c	GL 24h	GL 24c	GL 28h	GL 28c	GL 32h	GL 32c		
0°	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0°
10°	0,871	0,873	0,872	0,871	0,872	0,872	0,890	0,892	0,891	0,890	0,892	0,891	10°	
20°	0,634	0,639	0,636	0,634	0,638	0,636	0,677	0,681	0,679	0,677	0,680	0,679	20°	
25°	0,532	0,537	0,534	0,532	0,535	0,534	0,579	0,583	0,580	0,579	0,582	0,580	25°	
30°	0,448	0,453	0,450	0,448	0,452	0,450	0,495	0,500	0,497	0,495	0,499	0,497	30°	
32°	0,420	0,424	0,421	0,420	0,423	0,421	0,466	0,471	0,468	0,466	0,470	0,468	32°	
34°	0,394	0,398	0,395	0,394	0,397	0,395	0,439	0,444	0,441	0,439	0,443	0,441	34°	
35°	0,382	0,386	0,383	0,382	0,385	0,383	0,427	0,432	0,429	0,427	0,430	0,429	35°	
36°	0,370	0,375	0,372	0,370	0,373	0,372	0,415	0,420	0,417	0,415	0,419	0,417	36°	
38°	0,349	0,353	0,350	0,349	0,352	0,350	0,393	0,397	0,395	0,393	0,396	0,395	38°	
40°	0,329	0,334	0,331	0,329	0,333	0,331	0,372	0,377	0,374	0,372	0,376	0,374	40°	
42°	0,312	0,316	0,314	0,312	0,315	0,314	0,354	0,358	0,356	0,354	0,357	0,356	42°	
44°	0,296	0,300	0,298	0,296	0,299	0,298	0,337	0,341	0,339	0,337	0,340	0,339	44°	
45°	0,289	0,293	0,290	0,289	0,292	0,290	0,329	0,333	0,331	0,329	0,332	0,331	45°	
46°	0,282	0,286	0,283	0,282	0,285	0,283	0,321	0,326	0,323	0,321	0,325	0,323	46°	
48°	0,269	0,273	0,270	0,269	0,272	0,270	0,307	0,312	0,309	0,307	0,310	0,309	48°	
50°	0,257	0,261	0,258	0,257	0,260	0,258	0,295	0,299	0,296	0,295	0,298	0,296	50°	
52°	0,246	0,250	0,248	0,246	0,249	0,248	0,283	0,287	0,285	0,283	0,286	0,285	52°	
54°	0,237	0,240	0,238	0,237	0,239	0,238	0,272	0,276	0,274	0,272	0,275	0,274	54°	
56°	0,228	0,231	0,229	0,228	0,230	0,229	0,263	0,267	0,264	0,263	0,266	0,264	56°	
58°	0,220	0,223	0,221	0,220	0,223	0,221	0,254	0,258	0,256	0,254	0,257	0,256	58°	
60°	0,213	0,216	0,214	0,213	0,215	0,214	0,246	0,250	0,248	0,246	0,249	0,248	60°	
70°	0,187	0,190	0,188	0,187	0,189	0,188	0,217	0,221	0,219	0,217	0,220	0,219	70°	
80°	0,173	0,176	0,174	0,173	0,175	0,174	0,202	0,205	0,203	0,202	0,204	0,203	80°	
90°	0,169	0,171	0,170	0,169	0,171	0,170	0,197	0,200	0,198	0,197	0,199	0,198	90°	

Wirksame Auflagerlänge bei Druck unter einem Winkel  $\alpha$  zur Faser

$$l_{ef} = l + 30 \cdot \sin \alpha$$



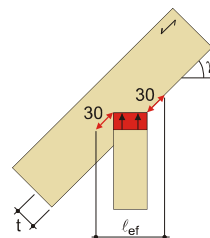
$$l_{ef} = l + 2 \cdot 30 \cdot \sin \alpha$$



$$t_{ef} = \frac{t}{\cos \alpha} + 2 \cdot 30 \cdot \sin \alpha$$

Charakteristische Beanspruchbarkeit  $F_k$  eines Sparrenaufagers in kN

Sparren und Pfette bestehen aus NH C24 mit jeweils  $k_{c,90} = 1,50$



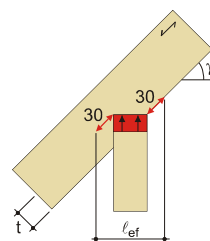
$$l_{ef} = \frac{t}{\sin \gamma} + 2 \cdot 30 \cdot \cos \gamma$$

Sparrenbreite b [mm]	Kervertiefe t [mm]	Dachneigung $\gamma$					
		25°	30°	35°	40°	45°	50°
60	25	26,62	22,50	19,61	17,50	15,91	14,69
	30	31,94	27,00	23,54	21,00	19,09	17,62
	40	39,30	36,00	31,38	28,00	25,46	23,50
80	25	31,06	26,25	22,88	20,42	18,56	17,13
	30	37,27	31,50	27,46	24,50	22,27	20,56
	40	49,69	42,00	36,61	32,67	29,70	27,41

Charakteristische Beanspruchbarkeit  $F_k$  eines Sparrenaufagers in kN

Sparren besteht aus NH C24 mit  $k_{c,90} = 1,50$

Pfette besteht aus GL 24 h mit  $k_{c,90} = 1,75$

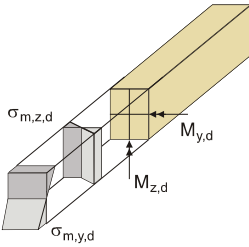


$$l_{ef} = \frac{t}{\sin \gamma} + 2 \cdot 30 \cdot \cos \gamma$$

Sparrenbreite b [mm]	Kervertiefe t [mm]	Dachneigung $\gamma$					
		25°	30°	35°	40°	45°	50°
60	25	29,94	26,25	22,88	20,42	18,56	17,13
	30	33,06	31,50	27,46	24,50	22,27	20,56
	40	39,30	37,36	36,61	32,67	29,70	27,41
80	25	36,23	30,63	26,70	23,82	21,66	19,99
	30	43,48	36,75	32,04	28,59	25,99	23,99
	40	52,40	49,00	42,71	38,12	34,65	31,98



## Biegung



$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

und

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{y,n}}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_{z,n}}$$

$f_{m,y,d}$   
 $f_{m,z,d}$  Bemessungswerte der Biegefestigkeit

$k_m = 0,7$  für Rechteckquerschnitte von VH, BSH und Furnierschichtholz

$k_m = 1,0$  für andere Querschnitte und andere tragende Holzwerkstoffe

## Biegung und Zug

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

und

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

## Biegung und Druck

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

und

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

## Erhöhung der Zug- und Biegefestigkeit bei Brettschichtholz

Bei Brettschichtholzträgern mit einer Querschnittshöhe bzw. -breite  $\leq 600$  mm darf der charakteristische Festigkeitswert mit dem Beiwert  $k_h = (600/h)^{0,10} \leq 1,1$  multipliziert werden.

h	< 230	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600
$k_h$	1,10	1,096	1,079	1,065	1,052	1,041	1,032	1,023	1,014	1,007	1,00

$k_h$	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00
h	231	253	278	305	335	368	405	446	492	543	600

Bei Hochkant-Biegebeanspruchung der Lamellen von homogenem Brettschichtholz mit mindestens vier Lamellen darf der charakteristische Wert der Biegefestigkeit um 20% vergrößert werden.

## Erhöhung der Zug- und Biegefestigkeit bei Vollholz

Bei Vollholz mit Rechteckquerschnitt,  $\rho_K \leq 700 \text{ kg/m}^3$  und einer Querschnittshöhe bzw. -breite  $\leq 150 \text{ mm}$  darf der charakteristische Festigkeitswert mit dem Beiwert  $k_h = (150/h)^{0,2} \leq 1,3$  multipliziert werden.

h	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
$k_h$	1,246	1,201	1,165	1,134	1,108	1,085	1,064	1,046	1,029	1,014	1,00

$k_h$	1,30	1,27	1,24	1,21	1,18	1,15	1,12	1,09	1,06	1,03	1,0
h	40	45	51	57	65	74	85	97	112	129	150

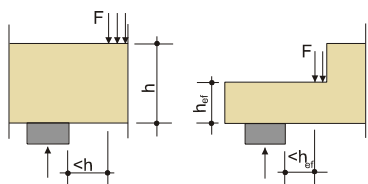
### Schub

Schubnachweis bei einachsiger Biegung:	$\tau_d \leq f_{v,d}$	$f_{v,d}$	Bemessungswert der Schubfestigkeit
		$V_d$	Bemessungswert der Querkraft
Schubspannung aus Querkraft (allgemein):	$\tau_d = \frac{V_d \cdot S}{I \cdot b_{ef}}$	$S$	Flächenmoment 1. Grades (Statisches Moment)
		$I$	Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment)
Rechteckquerschnitte:	$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A_{ef}}$	$b$	Querschnittsbreite an der Stelle, an der $\tau$ wirkt
		$h$	Querschnittshöhe
Kreisquerschnitte:	$\tau_d = \frac{4}{3} \cdot \frac{V_d}{A_{ef}}$	$A_{ef} = b_{ef} \cdot h$	effektive Querschnittsfläche
		$b_{ef} = k_{cr} \cdot b$	effektive Querschnittsbreite

Nach DIN EN 1995-1-1/NA gilt:

$k_{cr} = 0,67$	Vollholz aus Laubholz
$k_{cr} = \frac{2,0}{f_{v,k}}$	Vollholz und Balkenschichtholz aus NH Erhöhung von $k_{cr}$ bei NH um 30% in Bereichen zulässig, die mindestens 1,50 m vom Hirnholzende entfernt liegen.
$k_{cr} = \frac{2,5}{f_{v,g,k}}$	Brettschichtholz
$k_{cr} = 1,0$	andere holzbasierte Produkte

Maßgebende Querkraft  $V_{red}$  bei End- und Zwischenauflagern von Biegeträgern (ohne Ausklinkungen und Durchbrüche) mit Lastangriff am oberen Trägerrand:



Der Anteil einer Einzellast darf bei der gesamten Querkraft vernachlässigt werden, wenn sie im Bereich  $h$  oder  $h_{ef}$  angreift. Gilt sinngemäß auch für Querkraft aus Linienlast.

Für Biegeträger ohne Ausklinkung darf die maßgebende Querkraft in Abstand  $h$  vom Auflager angenommen werden.

- $h$  Trägerhöhe über der Auflagermitte
- $V$  Auflagerkraft infolge  $F$

Schubnachweis bei Doppelbiegung:	$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 \leq 1$	Bemessungswert der Schubspannung aus Torsion (für Rechteckquerschnitte):	$\tau_{tor,d} = \frac{3 \cdot T_d}{h \cdot b^2} \cdot \eta$														
Schubnachweis bei Torsion:	$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} \cdot f_{v,d}$	mit $\eta$ (nach Larsen/ Riberholt 1994) für $h \geq b$ :	$\eta = 1 + 0,6 \cdot b/h$														
Schubnachweis bei Querkraft und Torsion:	$\frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} \cdot f_{v,d}} + \left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 \leq 1$	<table border="1"> <tr> <td><math>h/b</math></td> <td>1,00</td> <td>1,25</td> <td>1,50</td> <td>2,00</td> <td>3,00</td> <td>4,00</td> </tr> <tr> <td><math>\eta</math></td> <td>1,60</td> <td>1,48</td> <td>1,40</td> <td>1,30</td> <td>1,20</td> <td>1,15</td> </tr> </table>		$h/b$	1,00	1,25	1,50	2,00	3,00	4,00	$\eta$	1,60	1,48	1,40	1,30	1,20	1,15
$h/b$	1,00	1,25	1,50	2,00	3,00	4,00											
$\eta$	1,60	1,48	1,40	1,30	1,20	1,15											

- $h$  für die größere Querschnittsabmessung
- $b$  für die kleinere Querschnittsabmessung

$$k_{shape} = \min \left\{ 1 + 0,15 \cdot \frac{h}{b}; 2,0 \right\}$$

Nach DIN EN 1995-1-1/A2 gilt: rechteckige Querschnitte

$$k_{shape} = \min \left\{ 1 + 0,05 \cdot \frac{h}{b}; 1,3 \right\}$$

$$k_{shape} = 1,2$$

runde Querschnitte

## 4. Stabilität von Bauteilen

### Biegeknicen von Druckstäben

um die y-Achse	$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	$f_{c,0,d}$	Bemessungswert der Druckfestigkeit in Faserichtung
		$k_{c,y(z)}$	Knickbeiwert für Rechteckquerschnitte
um die z-Achse	$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	$\sigma_{c,0,d}$	Bemessungswert der Druckspannung in Faserichtung
		$k_m$	Beiwert, siehe Nachweis Biegung

Schlankheitsgrad ( $\lambda$ )

$$\lambda = \frac{\ell_{ef}}{i} \quad \text{mit } \ell_{ef} = \beta \cdot s \quad \text{und } i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$\ell_{ef}$	Ersatzstablänge (Knicklänge) der Tragsysteme für das Ausknicken um die y- bzw. z-Achse
$i$	Trägheitsradius
$\beta$	Knicklängenbeiwert, siehe folgende Seite
$s$	Stablänge des Druckstabes
$I$	Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment)
$A$	Querschnittsfläche

Knickbeiwert  $k_c$  in Abhängigkeit von der Schlankheit  $\lambda$

	C 24		C 30		D 30		D 35		D 40		D 60		GL 24		GL 28		GL 32	
	h	c	h	c	h	c	h	c	h	c	h	c	h	c	h	c	h	c
$f_{c,0,k}$	21,0	23,0	23,0	25,0	26,0	32,0							24,0	21,0	26,5	24,0	29,0	26,5
$f_{c,0,q,k}$																		
$E_{0,mean}$	11000	12000	11000	12000	13000	17000	11600	11600	12600	12600	13700	13700						
$E_{0,05}$	7400	8000	9200	10100	10900	14300	9667	9667	10500	10500	11417	11417						
$\lambda = 50$	0,796	0,793	0,828	0,830	0,838	0,851	0,898	0,918	0,895	0,911	0,894	0,909						
$\lambda = 60$	0,676	0,671	0,723	0,726	0,739	0,759	0,806	0,848	0,800	0,833	0,798	0,828						
70	0,554	0,548	0,605	0,609	0,624	0,649	0,675	0,736	0,667	0,713	0,664	0,706						
80	0,450	0,445	0,498	0,502	0,516	0,542	0,548	0,611	0,541	0,587	0,538	0,580						
90	0,368	0,364	0,411	0,414	0,427	0,450	0,446	0,502	0,440	0,480	0,437	0,474						
100	0,305	0,302	0,342	0,345	0,356	0,377	0,368	0,416	0,362	0,397	0,360	0,391						
110	0,256	0,253	0,288	0,291	0,301	0,318	0,307	0,349	0,303	0,332	0,301	0,328						
120	0,218	0,216	0,245	0,248	0,256	0,272	0,260	0,296	0,256	0,282	0,255	0,278						
130	0,188	0,185	0,211	0,213	0,221	0,234	0,223	0,254	0,220	0,242	0,218	0,238						
140	0,163	0,161	0,184	0,186	0,192	0,204	0,193	0,220	0,190	0,210	0,189	0,207						
150	0,143	0,141	0,161	0,163	0,169	0,179	0,169	0,193	0,167	0,183	0,165	0,181						
160	0,126	0,125	0,143	0,144	0,149	0,159	0,149	0,170	0,147	0,162	0,146	0,159						
170	0,112	0,111	0,127	0,128	0,133	0,141	0,133	0,151	0,130	0,144	0,130	0,142						
180	0,101	0,099	0,114	0,115	0,119	0,127	0,118	0,135	0,117	0,128	0,116	0,127						
190	0,091	0,090	0,103	0,104	0,107	0,114	0,107	0,121	0,105	0,116	0,104	0,114						
200	0,082	0,081	0,093	0,094	0,097	0,103	0,096	0,110	0,095	0,104	0,094	0,103						

Charakteristische Tragfähigkeit  $F_{c,0,k}$  quadratischer Pendelstützen ( $M_{y,k} = M_{z,k} = 0$ ) in kN für Nadelholz C24

Maße [cm]	Ersatzstabverfahren							Theorie II. Ordnung	
	Knicklänge $\ell_{ef}$ [m]							Vergleichende Nachweise mit Theorie II. Ordnung verhalten sich in Abhängigkeit von $k_{mod}$ wie folgt:	
	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50		
10/10	82,8	59,9	45,0	35,0	28,0	22,8	19,0	$k_{mod} = 1,0$	etwa gleiche Ergebnisse bei großer Schlankheit geringere Ausnutzung
12/12	160,3	119,2	90,8	71,0	57,0	46,6	38,9		
14/14	269,1	209,0	162,2	128,2	103,4	85,0	71,0	$k_{mod} = 0,9$	deutlich geringere Ausnutzung
16/16	403,1	330,6	264,3	211,9	172,3	142,3	119,2		
18/18	555,5	480,2	398,5	326,2	268,2	222,9	187,6	$k_{mod} \leq 0,8$	
20/20	723,2	651,0	562,3	472,8	394,8	331,1	280,2		
22/22	906,3	838,6	750,1	650,1	553,7	470,0	400,7		

**Ersatzstablängen (Knicklängen) gemäß nationalem Anhang**

Eingespannter Stab (Eulerfall 1)	Pendelstab (Eulerfall 2)	Unten eingespannter Stab mit gelenkiger Lagerung oben (Eulerfall 3)	Beidseitig eingespannter Stab (Eulerfall 4)	Nachgiebig eingespannter Stab
$\beta = 2$	$\beta = 1$	$\beta = 0,707$	$\beta = 0,5$	$\beta = \sqrt{4 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{h \cdot K_\phi}}$

Stützenreihe mit nachgiebig eingespannter Stütze	Zwei- und Dreigelenkbogen	Kehlbalkendach	Fachwerkbinder
$\beta = \sqrt{4 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{h \cdot K_\phi}} \cdot (1 + \alpha)$	$\beta = 1,25$	für $s_1 < 0,7 \cdot s$ : $\beta = 0,8$ für $s_1 \geq 0,7 \cdot s$ : $\beta = 1,0$	Bei gelenkiger Lagerung: $K_\phi \approx 0 \rightarrow \beta = 1,0$ $K_\phi \gg 0 \rightarrow \beta = 0,8$

**Stabilitätsversagen von Biegestäben (Biegeknicken und Biegedrillknicken)**

Biegung um die starke Achse ohne Normalkraft

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

$k_{crit}$  Beiwert für zusätzliche Spannungen infolge Kippen, Bestimmung siehe übernächste Seite

Biegung um die starke Achse und Normalkraft

$$\left( \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

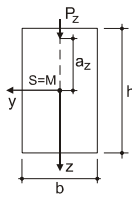
Zusätzlich sollten nach nationalem Anhang noch folgende Gleichungen erfüllt sein

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right)^2 \leq 1$$

und 
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Die Ersatzstablänge  $\ell_{ef}$  wird mit den Kipplängenbeiwerten  $a_1$  und  $a_2$  berechnet: [nationaler Anhang]

$$\ell_{ef} = \frac{\ell}{a_1 \cdot \left[ 1 - a_2 \cdot \frac{a_z}{\ell} \cdot \sqrt{\frac{B}{T}} \right]}$$



$\ell$  Länge des Trägers  
 $a_z$  Abstand des Lastangriffes vom Schubmittelpunkt  
 $B = E \cdot I_z$  Biegesteifigkeit um die z-Achse:  $B = \frac{E \cdot b^3 \cdot h}{12}$   
 $T = G \cdot I_t$  Torsionssteifigkeit:  $T \cong \frac{G \cdot b^3 \cdot h}{3}$

System	Momentenverlauf	$a_1$	$a_2$
gabelgelagerter Einfeldträger 		1,77	0
		1,35	1,74
		1,13	1,44
		1,00	0
Kragarm 		1,27	1,03
		2,05	1,50
beidseitig eingespannter Träger 		6,81	0,40
		5,12	0,40
Mittelfeld, Durchlaufträger 		1,70	1,60
		1,30	1,60

$$k_{\text{crit}} = 1 \quad \text{für} \quad \lambda_{\text{rel},m} \leq 0,75$$

$$k_{\text{crit}} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel},m} \quad \text{für} \quad 0,75 < \lambda_{\text{rel},m} \leq 1,40 \quad \text{mit} \quad \lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,\text{crit}}}} = \sqrt{\frac{\ell_{\text{ef}} \cdot h}{\pi \cdot b^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05} \cdot G_{05}}} = \kappa_m \cdot \sqrt{\frac{\ell_{\text{ef}} \cdot h}{\pi \cdot b^2}}$$

$$k_{\text{crit}} = 1 / \lambda_{\text{rel},m}^2 \quad \text{für} \quad 1,40 < \lambda_{\text{rel},m}$$

Allgemein gilt:

$$\sigma_{m,\text{crit}} = \frac{M_{y,\text{crit}}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{05} \cdot I_{\text{tor}}}}{\ell_{\text{ef}} \cdot W_y}$$

Bei Biegestäben aus BSH darf  $E_{0,05} \cdot G_{05}$  mit dem Faktor 1,4 multipliziert werden.

für NH mit vollem Querschnitt gilt:  $\sigma_{m,\text{crit}} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot \ell_{\text{ef}}} \cdot E_{0,05}$

Beiwert $\kappa_m = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05} \cdot G_{05}}}$	Holzart	GL 24h	GL 24c	GL 28h	GL 28c	GL 32h	GL 32c
	$f_{m,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	24,0	24,0	28,0	28,0	32,0	32,0
	$E_{0,05}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	9667	9667	10500	10500	11417	11417
	$G_{05}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	600	492	650	600	708	650
	$\kappa_m$ [-]	0,09177	0,09646	0,09517	0,09710	0,09752	0,09964

Der Beiwert  $\kappa_m$  ist unter Ansatz der Erhöhung der Steifigkeit um 40 % ermittelt

Für den **gabelgelagerten Einfeldträger** mit konstantem Moment entspricht die Ersatzstablänge  $\ell_{\text{ef}}$  der Stützweite des Trägers. Die Gabelagerung ist dabei für ein Torsionsmoment zu bemessen von:

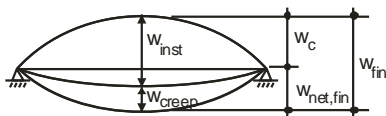
$$M_{\text{tor},d} = M_d / 80$$

$M_d$  Bemessungswert des größten Biegemoments im Stab

## 5. Nachweise der Gebrauchstauglichkeit

### Durchbiegungsnachweis

Die Verformung (Durchbiegung) setzt sich wie folgt zusammen:



- $w_c$  Überhöhung im lastfreien Zustand
- $w_{\text{inst}}$  Anfangsdurchbiegung
- $w_{\text{creep}}$  Durchbiegung infolge Kriechen
- $w_{\text{fin}}$  Enddurchbiegung
- $w_{\text{net,fin}}$  Enddurchbiegung abzüglich Überhöhung

$$w_{\text{net,fin}} = w_{\text{inst}} + w_{\text{creep}} - w_c = w_{\text{fin}} - w_c$$

### Grenzwerte der Verformung

Die **Anfangsverformung**  $u_{\text{inst}}$  sollte mit der **charakteristischen Kombination** nach DIN EN 1990 bestimmt werden, unter Verwendung von Mittelwerten der Steifigkeitskennwerte

$$E_d = \sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad u_{\text{inst}} \text{ wird nach den Regeln der Statik bestimmt}$$

Die **Endverformung**  $u_{\text{fin}}$  sollte mit der **quasi-ständigen Kombination** nach DIN EN 1990 bestimmt werden

$$E_d = \sum G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad u_{\text{fin}} = u_{\text{inst}} \cdot (1 + k_{\text{def}})$$

### Bestimmung der Durchbiegung

Anfangsverformung	$w_{\text{inst}} = w_{\text{inst,G}} + w_{\text{inst,Q},1} + \sum_{i > 1} \psi_0 \cdot w_{\text{inst,Q},i}$
Endverformung - Nachweis 1:	$w_{\text{fin}} = w_{\text{inst,G}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) + w_{\text{inst,Q},1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{\text{def}}) + \sum_{i > 1} w_{\text{inst,Q},i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{\text{def}})$
- Nachweis 2:	$w_{\text{net,fin}} = \left( w_{\text{inst,G}} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot w_{\text{inst,Q},i} \right) \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_c$

## Empfohlene Werte der Durchbiegungen für Biegestäbe

	$W_{\text{inst}}$	$W_{\text{net,fin}}$	$W_{\text{fin}}$
Alle Bauteile, außer die in der nächsten Zeile erwähnten	$\ell/300^a$ $(\ell/150)^b$	$\ell/300^a$ $(\ell/150)^b$	$\ell/200^a$ $(\ell/100)^b$
Überhöhte Bauteile, untergeordnete Bauteile, wie Bauteile landwirtschaftlicher Gebäude, Sparren und Pfetten	$\ell/200^a$ $(\ell/100)^b$	$\ell/250^a$ $(\ell/125)^b$	$\ell/150^a$ $(\ell/75)^b$

a) Bei verformungsempfindlichen Konstruktionen können geringere Grenzwerte erforderlich werden

b) Die Werte in Klammern gelten für auskragende Bauteile

## Schwingungsnachweis

Der Schwingungsnachweis gilt für Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz größer als 8 Hz und ist auf Einfeld-Systeme beschränkt.

### Bestimmung der Eigenfrequenz $f_1$

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \sqrt{\frac{(EI)_\ell}{m}}$$

$\ell$  Deckenspannweite in m

$(EI)_\ell$  äquivalente Plattenbiegesteifigkeit der Decke um eine Achse rechtwinklig zur Balkenrichtung in  $\text{Nm}^2/\text{m}$

$m$  Masse der Decke je Flächeneinheit in  $\text{kg}/\text{m}^2$

### Definition der Forderungen

$$\frac{w}{F} \leq a \quad \text{in mm/kN}$$

$w$  größte vertikale Anfangsverformung einer konzentrierten Einzellast  $F$  in mm

$F$  konzentrierte Einzellast in kN

$v$  Einheitsimpuls geschwindigkeitsreaktion in  $\text{m}/\text{s}$

$\zeta$  modaler Dämpfungsgrad (0,01 wenn nicht anders definiert)

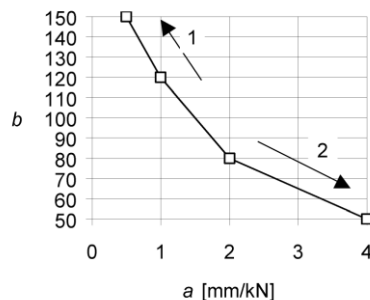
$$v \leq b^{(f_1 \zeta - 1)} \quad \text{in m}/(\text{Ns}^2)$$

Für die Werte  $a$  und  $b$  sind Grenzen und Zusammenhänge in DIN EN 1995-1-1 angegeben.

für  $0,50 \leq a < 1,0$  gilt:  $b = 100 - 60 \cdot a$

für  $1,0 \leq a < 2,0$  gilt:  $b = 160 - 40 \cdot a$

für  $2,0 \leq a < 4,0$  gilt:  $b = 110 - 15 \cdot a$



$$v = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,60 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot \ell + 200} \quad \text{in mm/kN}$$

$\ell$  Deckenspannweite in m

$b$  Deckenbreite in m

$m$  Masse der Decke je Flächeneinheit in  $\text{kg}/\text{m}^2$

$n_{40}$  Anzahl der Schwingungen 1. Ordnung mit einer Resonanzfrequenz bis zu 40 Hz

$$\text{mit: } n_{40} = \left\{ \left[ \left( \frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right] \cdot \left( \frac{b}{\ell} \right)^4 \cdot \frac{(EI)_\ell}{(EI)_b} \right\}^{0,25}$$

$(EI)_b$  äquivalente Plattenbiegesteifigkeit der Decke um eine Achse in Richtung der Balken mit  $(EI)_b < (EI)_\ell$

---

## Änderungsvermerke:

- Erstellungsdatum 04.06.2012
  - Anpassung am 26.06.2012 an den Einführungserrlass des EC5 in NRW vom 20.06.2012. Geändert wurden Tabellen auf Seite 4, 6, 7, 10 und 13, auf die die Festigkeiten von Brettschichtholz Einfluss haben (jetzt Festigkeitswerte nach DIN EN 1194:1999-05).
  - $k_c$ -Werte für Brettschichthölzer auf Seite 10 angepasst
  - Anpassung am 15.08.2012 auf die Festigkeitswerte für BSH nach DIN 1052:2008-12 mit Ausnahme von  $f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$  für alle BSH (untere Tabelle auf Seite 4), Anpassung der  $k_c$ -Werte für BSH in der Tabelle auf Seite 10, Anpassung der  $\kappa_m$ -Werte in der Tabelle auf Seite 13.
  - Anpassung am 20.10.2013 auf DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08.
    - Anpassung der Nachweise zum Querdruck unter einem Winkel  $\alpha$  auf Seite 6. Zusätzlich wurden die Grafiken und die Tabellen auf Seite 8 ergänzt.
    - Anpassung des Nachweisformats zum Verformungsnachweis auf Seite 14. Des Weiteren wurden die Verformungsbegrenzungen in der Tabelle auf der Seite 15 angepasst.
  - Am 11.04.2014 Nachweisformat 1 für die Bestimmung der Durchbiegung im Endzustand auf Seite 14 angepasst; Indices an die Darstellung in der Normung angepasst.
  - Am 27.05.2014 den Index für die Zugfestigkeit parallel für BSH auf Seite 4 geändert und in der Bestimmungsgleichung für  $\sigma_{m,crit}$  auf Seite 14 redaktionelle Anpassung vorgenommen.
  - Am 06.10.2014 die Tabellenwerte  $f_{c,\alpha}$  für BSH GL 24 c in der Tabelle Seite 7 und Winkelbeziehung ( $\sin \gamma \Rightarrow \cos \gamma$ ) in den Skizzen neben den Überschriften „Charakteristische Beanspruchbarkeit  $F_k$ “ auf Seite 8 angepasst.
  - Am 07.11.2014 in der Tabelle zu den Festigkeiten von Brettschichtholz (Seite 4) unter der Festigkeitsklasse GL28 die frühere Bezeichnung in der Zeile 2 von B511 auf B514 angepasst.  
Auf Seite 10 die neue Bestimmungsgleichung für  $k_{shape}$  nach DIN EN 1995-1-1/A2:2014-07 für rechteckige Querschnitte zusätzlich angegeben.
-