

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

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

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

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

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

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

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

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 ψ_i für Einwirkungen auf Hochbauten

Veränderliche Einwirkungen		KLED	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Nutzlasten $Q_{k,N}$:					
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		
Schnee- und Eislasten $Q_{k,s}$:					
	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
Windlasten für Hochbauten $Q_{k,w}$					
	Baugrundsetzungen $Q_{k,\Delta}$	kurz/sehr kurz ^a	0,6	0,2	0
	Anpralllasten nach DIN 1055-9	sehr kurz	-	-	-

^a 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)
	γ_G	γ_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 % ^a	20°C / 65 % rel. Luftfeuchte	z.B. allseitig geschlossene und beheizte Bauwerke
2	10 bis 20 % ^b	20°C / 85 % rel. Luftfeuchte	z.B. überdachte, offene Bauwerke
3	12 bis 24 %		z.B. Konstruktionen, die der Witterung ausgesetzt sind

^a In den meisten Nadelhölzern wird in der Nutzungsklasse 1 eine mittlere Ausgleichsfeuchte von 12 % nicht überschritten.

^b In den meisten Nadelhölzern wird in der Nutzungsklasse 2 eine mittlere Ausgleichsfeuchte von 20 % nicht überschritten.

^c Die Nutzungsklasse 3 schließt auch Bauwerke ein, in denen sich höhere Gleichgewichtsfeuchten einstellen.

Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für Festigkeitseigenschaften in ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen

Baustoff	γ_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	Nutzungsclassse		
	1	2	3
Vollholz Brettschichtholz Balkenschichtholz ²⁾ Furnierschichtholz Brettsperrholz ²⁾ Massivholzplatten ²⁾ 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 Nutzungsclassse 1 2) nicht in Nutzungsclassse 3

Baustoff und Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Nutzungsclassse		
	1	2	3
Kunstharzgebundene Spanplatten Zementgebundene Spanplatten Faserplatten - hart (Typ HB.HLA2 DIN EN 622-2:2004-07) OSB-Platten (Typ OSB/2 ¹⁾)			
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	-

Faserplatten¹⁾ - mittelhart

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

Gipsplatten (Typen GKB¹⁾, GKF¹⁾, 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	Nutzungsclassse		
	1	2	3
Vollholz ¹⁾ Brettschichtholz Balkenschichtholz ⁴⁾ Furnierschichtholz ²⁾ Brettsperrholz ⁴⁾ Massivholzplatten	0,60	0,80	2,00
Sperrholz Furnierschichtholz ³⁾	0,80	1,00	2,50
OSB-Platten (Typen OSB/3 und OSB/4 nach DIN EN 300:2006-09)	1,50	2,25	-

Baustoff	Nutzungsclassse		
	1	2	3
Kunstharzgebundene Spanplatten Zementgebundene Spanplatten Faserplatten - hart (Typ HB.HLA2 DIN EN 622-2:2004-07) OSB-Platten (Typ OSB/2 ⁵⁾)	2,25	3,00	-
Faserplatten⁵⁾ - mittelhart (Typ MBH.LA2 DIN EN 622-3:2004-07) Gipsplatten	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 gemäß DIN EN 338:2016-07 für maßgebende VH (Nadelhölzer und Laubhölzer) nach DIN EN14081-1

Festigkeitsklasse		C 24 ⁷⁾	C 30 ⁷⁾	D 30 ⁸⁾	D 35 ⁹⁾	D 40 ¹⁰⁾	D 60 ¹¹⁾
Sortierklasse nach DIN 4074-1, Güteklasse nach DIN 4074-2 bzw. DIN 4074-5 ^{3) 4) 5) 6)}		S10/C24 M II	S13/C30 M I	LS10	LS10	LS10/ LS13	LS10
Festigkeitskennwerte in N/mm²							
Biegung ¹²⁾	$f_{m,k}$	24,0	30,0	30,0	35,0	40,0	60,0
Zug parallel ¹²⁾	$f_{t,0,k}$	14,5	19,0	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	24,0	24,0	25,0	27,0	33,0
Druck rechtwinklig	$f_{c,90,k}$	2,5	2,7	5,3	5,4	5,5	10,5
Schub und Torsion	$f_{v,k}$	4,0	4,0	3,9	4,1	4,2	4,8
Rollschub ²⁾	$f_{R,k}$	0,8	0,8	1,2	1,2	1,2	1,2
Steifigkeitskennwerte in N/mm²							
Elastizitätsmodul parallel ¹⁾	$E_{0,mean}$	11000	12000	11000	12000	13000	17000
Elastizitätsmodul rechtwinklig ¹⁾	$E_{90,mean}$	370	400	730	800	870	1130
Schubmodul ^{1) 2)}	G_{mean}	690	750	690	750	810	1060
Rohdichtekennwerte in kg/m³							
	ρ_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 (Basralocus)
- Holzart: Azobé (Bongossi), Ipe (Rohdichte mindestens 1000 kg/m³)
- 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 EN 14080:2013-09

Festigkeitsklasse		GL 24		GL 28		GL 30		GL 32	
frühere Bezeichnung		BS 11		BS 14		-		BS 16	
homogenes (h) / kombiniertes (c)		c	h	c	h	c	h	c	h
Festigkeitskennwerte in N/mm²									
Biegung ^{1) 2)}	$f_{m,g,k}$	24,0		28,0		30		32,0	
Zug parallel ¹⁾	$f_{t,0,g,k}$	17,0	19,2	19,5	22,3	19,5	24,0	19,5	25,6
Zug rechtwinklig	$f_{t,90,g,k}$	0,5							
Druck parallel	$f_{c,0,g,k}$	21,5	24,0	24,0	28,0	24,5	30,0	24,5	32,0
Druck rechtwinklig	$f_{c,90,g,k}$	2,5							
Schub und Torsion	$f_{v,g,k}$	3,5							
Rollschub	$f_{r,g,k}$	1,2							
Steifigkeitskennwerte in N/mm²									
Elastizitätsmodul parallel ³⁾	$E_{0,g,mean}$	11000	11500	12500	12600	13000	13600	13500	14200
Elastizitätsmodul rechtwinklig ³⁾	$E_{90,g,mean}$	300							
Schubmodul ^{3) 4)}	$G_{g,mean}$	650							
Rohdichtekennwerte in kg/m³									
	$\rho_{g,k}$	365	385	390	425	390	430	400	440

- 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.
- Mit 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 ¹⁾²⁾

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 %.

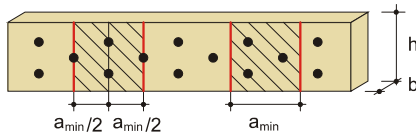
2) Die Fasersättigung darf für alle Holzarten rechnerisch bei 30 % Holzfeuchte angenommen werden.

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 α zur Faser ($\alpha \neq 0^\circ$)

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

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

α 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

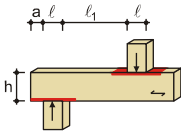
$f_{v,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit

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

A_n Nettoquerschnittsfläche

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

Einzellagerung
(entspricht Auflagerdruck)

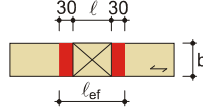


$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

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

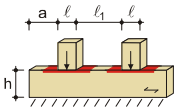
$F_{c,90,d}$ Bemessungswert der Druckkraft \perp zur Faser

A_{ef} wirksame Querdruckfläche



An jedem Rand in Faserrichtung des Holzes darf die Aufstandsfläche ℓ um bis zu 30 mm verlängert werden, aber um nicht mehr als a , ℓ 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

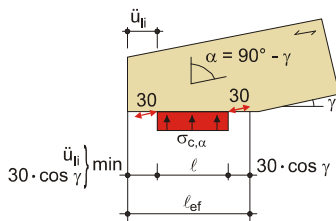
$k_{c,90} = 1,25$ für NVH mit $\ell_1 \geq 2 \cdot h$ bei Schwellendruck

$k_{c,90} = 1,5$ 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 α zur Faser ($\alpha \neq 90^\circ$) nach DIN EN 1995-1-1 und NA

Trägerauflager



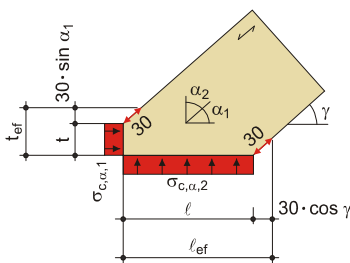
$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq f_{c,\alpha,d}$$

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:

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

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

Kontaktanschluss:

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

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

α 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 α zur Faserrichtung

A_{ef} wirksame Druckfläche

$f_{c,0,d}$ Bemessungswert der Druckfestigkeit \parallel 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:

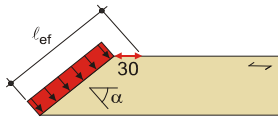
$$k_{c,\alpha} = \frac{1}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Werte siehe nachfolgende Tabelle

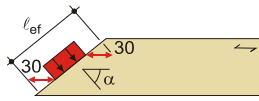
Beiwerte $k_{c,\alpha}$ für Nadelholz, Laubholz und Brettschichtholz

α	NH C24 $k_{c,90} =$			Laubholz $k_{c,90} = 1,0$				Beiwert $f_{e,\alpha}$ für Brettschichtholz $k_{c,90} = 1,0$						α	
	1,0	1,25	1,50	D30	D35	D40	D60	GL 24c	GL 24h GL 28c	GL 28h	GL 30c GL 32c	GL 30h	GL 32h		
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	0,904	0,901	0,895	0,939	0,814	0,794	0,765	0,790	0,751	0,738	10°	
20°	0,536	0,599	0,650	0,708	0,702	0,686	0,800	0,529	0,499	0,456	0,493	0,437	0,420	20°	
25°	0,431	0,495	0,549	0,613	0,607	0,589	0,723	0,424	0,394	0,354	0,389	0,337	0,322	25°	
30°	0,351	0,412	0,465	0,531	0,524	0,506	0,651	0,345	0,317	0,282	0,312	0,267	0,253	30°	
32°	0,325	0,384	0,436	0,502	0,495	0,477	0,624	0,319	0,293	0,259	0,288	0,245	0,232	32°	
34°	0,302	0,359	0,410	0,475	0,468	0,450	0,599	0,296	0,271	0,239	0,267	0,225	0,213	34°	
35°	0,291	0,347	0,398	0,463	0,456	0,437	0,587	0,286	0,261	0,230	0,257	0,217	0,205	35°	
36°	0,281	0,336	0,386	0,451	0,444	0,425	0,575	0,276	0,252	0,221	0,248	0,208	0,197	36°	
38°	0,263	0,316	0,364	0,428	0,421	0,403	0,552	0,258	0,235	0,205	0,231	0,193	0,183	38°	
40°	0,246	0,297	0,345	0,407	0,400	0,382	0,530	0,242	0,220	0,192	0,216	0,180	0,170	40°	
42°	0,232	0,281	0,327	0,388	0,381	0,364	0,510	0,227	0,206	0,180	0,202	0,169	0,159	42°	
44°	0,219	0,266	0,311	0,370	0,363	0,346	0,492	0,214	0,194	0,169	0,191	0,159	0,149	44°	
45°	0,213	0,259	0,303	0,362	0,355	0,338	0,483	0,208	0,189	0,164	0,185	0,154	0,145	45°	
46°	0,207	0,253	0,296	0,354	0,347	0,331	0,474	0,203	0,183	0,159	0,180	0,149	0,141	46°	
48°	0,197	0,240	0,282	0,339	0,333	0,317	0,458	0,192	0,174	0,151	0,171	0,141	0,133	48°	
50°	0,187	0,230	0,270	0,326	0,319	0,304	0,443	0,183	0,165	0,143	0,162	0,134	0,126	50°	
52°	0,179	0,220	0,259	0,313	0,307	0,292	0,429	0,175	0,158	0,136	0,155	0,128	0,120	52°	
54°	0,171	0,211	0,249	0,302	0,296	0,281	0,416	0,167	0,151	0,130	0,148	0,122	0,115	54°	
56°	0,164	0,203	0,240	0,292	0,286	0,271	0,404	0,161	0,145	0,125	0,142	0,117	0,110	56°	
58°	0,158	0,196	0,232	0,283	0,277	0,262	0,394	0,155	0,139	0,120	0,136	0,112	0,105	58°	
60°	0,153	0,189	0,225	0,274	0,269	0,254	0,384	0,149	0,134	0,116	0,132	0,108	0,102	60°	
70°	0,133	0,165	0,198	0,243	0,238	0,225	0,346	0,130	0,116	0,100	0,114	0,093	0,088	70°	
80°	0,122	0,153	0,183	0,226	0,221	0,209	0,325	0,119	0,107	0,092	0,105	0,086	0,080	80°	
90°	0,119	0,149	0,179	0,221	0,216	0,204	0,318	0,116	0,104	0,089	0,102	0,083	0,078	90°	

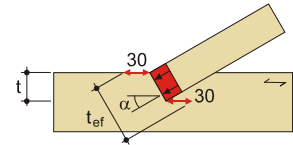
α	Beiwert $k_{c,\alpha}$ für Brettschichtholz $k_{c,90} = 1,50$						Beiwert $k_{c,\alpha}$ für Brettschichtholz $k_{c,90} = 1,75$						α	
	GL 24c	GL 24h GL 28c	GL 28h	GL 30c GL 32c	GL 30h	GL 32h	GL 24c	GL 24h GL 28c	GL 28h	GL 30c GL 32c	GL 30h	GL 32h		
0°	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0°
10°	0,875	0,860	0,837	0,857	0,826	0,815	0,894	0,881	0,860	0,878	0,850	0,840	10°	
20°	0,644	0,613	0,569	0,607	0,550	0,532	0,686	0,656	0,613	0,650	0,593	0,575	20°	
25°	0,542	0,509	0,464	0,503	0,444	0,426	0,589	0,555	0,509	0,549	0,489	0,470	25°	
30°	0,458	0,426	0,382	0,420	0,364	0,347	0,505	0,471	0,426	0,465	0,406	0,388	30°	
32°	0,429	0,397	0,355	0,392	0,337	0,321	0,476	0,443	0,397	0,436	0,378	0,361	32°	
34°	0,403	0,372	0,331	0,366	0,314	0,298	0,450	0,416	0,372	0,410	0,353	0,336	34°	
35°	0,391	0,360	0,320	0,355	0,303	0,287	0,437	0,404	0,360	0,398	0,342	0,325	35°	
36°	0,379	0,349	0,309	0,343	0,293	0,278	0,425	0,392	0,349	0,386	0,331	0,314	36°	
38°	0,358	0,328	0,290	0,323	0,274	0,259	0,403	0,370	0,328	0,364	0,311	0,295	38°	
40°	0,338	0,309	0,272	0,304	0,257	0,243	0,382	0,350	0,309	0,345	0,292	0,277	40°	
42°	0,321	0,293	0,257	0,288	0,242	0,229	0,363	0,332	0,293	0,327	0,276	0,261	42°	
44°	0,304	0,277	0,243	0,272	0,228	0,216	0,346	0,316	0,277	0,311	0,261	0,247	44°	
45°	0,297	0,270	0,236	0,265	0,222	0,210	0,338	0,308	0,270	0,303	0,255	0,241	45°	
46°	0,290	0,264	0,230	0,259	0,216	0,204	0,331	0,301	0,264	0,296	0,248	0,234	46°	
48°	0,277	0,251	0,219	0,247	0,206	0,194	0,316	0,288	0,251	0,282	0,236	0,223	48°	
50°	0,265	0,240	0,209	0,235	0,196	0,184	0,303	0,275	0,240	0,270	0,225	0,213	50°	
52°	0,254	0,230	0,199	0,225	0,187	0,176	0,291	0,264	0,230	0,259	0,216	0,203	52°	
54°	0,244	0,221	0,191	0,216	0,179	0,169	0,281	0,254	0,221	0,249	0,207	0,195	54°	
56°	0,235	0,212	0,184	0,208	0,172	0,162	0,271	0,245	0,212	0,240	0,199	0,187	56°	
58°	0,227	0,205	0,177	0,201	0,166	0,156	0,262	0,237	0,205	0,232	0,192	0,180	58°	
60°	0,220	0,198	0,171	0,194	0,160	0,150	0,254	0,229	0,198	0,225	0,185	0,174	60°	
70°	0,193	0,173	0,149	0,170	0,139	0,131	0,224	0,202	0,173	0,198	0,162	0,152	70°	
80°	0,179	0,160	0,138	0,157	0,128	0,120	0,208	0,187	0,160	0,183	0,150	0,140	80°	
90°	0,174	0,156	0,134	0,153	0,125	0,117	0,203	0,182	0,156	0,179	0,146	0,137	90°	

Wirksame Auflagerlänge bei Druck unter einem Winkel α zur Faser

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



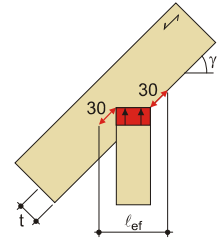
$$l_{ef} = l + 2 \cdot 30 \cdot \sin \alpha$$



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

Charakteristische Beanspruchbarkeit F_k eines Sparrenaufagers in kN

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



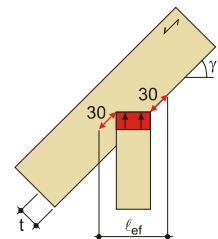
$$l_{ef} = \frac{t}{\sin \gamma} + 2 \cdot 30 \cdot \cos \gamma$$

Sparrenbreite b [mm]	Kervertiefe t [mm]	Dachneigung γ					
		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 $k_{c,90} = 1,50$

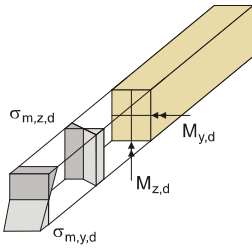
Pfetten aus Brettschichtholz mit $k_{c,90} = 1,75$



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

Sparrenbreite b [mm]	Kervertiefe t [mm]	Dachneigung γ					
		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	52,39	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 ≤ 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.

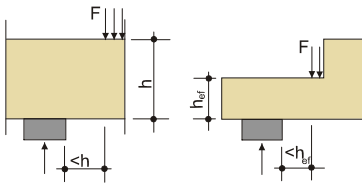
h	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
k_h	1,246	1,201	1,165	1,134	1,108	1,085	1,064	1,046	1,029	1,014	1,00

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:	$\tau_d \leq f_{v,d}$	$f_{v,d}$ V_d	Bemessungswert der Schubfestigkeit Bemessungswert der Querkraft
Schubspannung aus Querkraft (allgemein):	$\tau_d = \frac{V_d \cdot S}{I \cdot b_{ef}}$	S I	Flächenmoment 1. Grades (Statisches Moment) Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment)
Rechteckquerschnitte:	$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A_{ef}}$	b h	Querschnittsbreite an der Stelle, an der τ wirkt Querschnittshöhe
Kreisquerschnitte:	$\tau_d = \frac{4}{3} \cdot \frac{V_d}{A_{ef}}$	$A_{ef} = b_{ef} \cdot h$ $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$	effektive Querschnittsfläche effektive Querschnittsbreite
Nach DIN EN 1995-1-1/NA gilt:	$k_{cr} = 0,67$ $k_{cr} = \frac{2,0}{f_{v,k}}$ $k_{cr} = \frac{2,5}{f_{v,g,k}}$ $k_{cr} = 1,0$	Vollholz aus Laubholz 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. Brettschichtholz andere holzbasierte Produkte	

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



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 η (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"> <thead> <tr> <th>h/b</th> <th>1,00</th> <th>1,25</th> <th>1,50</th> <th>2,00</th> <th>3,00</th> <th>4,00</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>η</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> </tbody> </table>		h/b	1,00	1,25	1,50	2,00	3,00	4,00	η	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											
η	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

Biegekicken 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 (λ)

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

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

Knickbeiwert k_c in Abhängigkeit von der Schlankheit λ

	C 24		C 30		D 30		D 35		D 40		D 60		GL 24		GL 28		GL 30	GL 32	
	c	h	c	h	c	h	c	h	c	h	c	h	c	h	c	h	h	h	
$f_{c,0,k}$	21,0	24,0	24,0	24,0	25,0	26,0	32,0												
$f_{c,0,g,k}$																			
$E_{0,mean}$	11000	12000	11000	12000	13000	17000	11000	11500	12500	12600	13600	14200							
$E_{0,05}$	7400	8000	9200	10100	10900	14300	9100	9600	10400	10500	11300	11800							
$\lambda = 50$	0,796	0,781	0,818	0,830	0,830	0,845	0,906	0,897	0,910	0,885	0,886	0,882							
$\lambda = 60$	0,676	0,655	0,708	0,726	0,726	0,749	0,823	0,803	0,830	0,779	0,781	0,773							
70	0,554	0,531	0,588	0,609	0,609	0,637	0,698	0,672	0,709	0,641	0,643	0,633							
80	0,450	0,429	0,481	0,502	0,501	0,529	0,571	0,545	0,582	0,516	0,518	0,508							
90	0,368	0,351	0,396	0,414	0,414	0,439	0,466	0,443	0,476	0,418	0,420	0,412							
100	0,305	0,290	0,329	0,345	0,345	0,367	0,385	0,365	0,394	0,344	0,345	0,339							
110	0,256	0,244	0,277	0,291	0,290	0,310	0,322	0,305	0,329	0,287	0,288	0,283							
120	0,218	0,207	0,236	0,248	0,248	0,264	0,273	0,259	0,279	0,243	0,244	0,239							
130	0,188	0,178	0,203	0,213	0,213	0,228	0,234	0,222	0,240	0,208	0,209	0,205							
140	0,163	0,155	0,177	0,186	0,186	0,198	0,203	0,192	0,208	0,181	0,181	0,178							
150	0,143	0,136	0,155	0,163	0,163	0,174	0,178	0,168	0,182	0,158	0,159	0,155							
160	0,126	0,120	0,137	0,144	0,144	0,154	0,157	0,148	0,160	0,139	0,140	0,137							
170	0,112	0,107	0,122	0,128	0,128	0,137	0,139	0,132	0,142	0,124	0,124	0,122							
180	0,101	0,095	0,109	0,115	0,115	0,123	0,124	0,118	0,127	0,110	0,111	0,109							
190	0,091	0,086	0,098	0,104	0,103	0,111	0,112	0,106	0,114	0,099	0,100	0,098							
200	0,082	0,078	0,089	0,094	0,094	0,100	0,101	0,096	0,104	0,090	0,090	0,088							

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 ℓ_{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 Normkraft

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

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

Biegung um die starke Achse und Normkraft

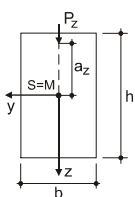
$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

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 l_{ef} wird mit den Kipplängenbeiwerten a_1 und a_2 berechnet: [nationaler Anhang]

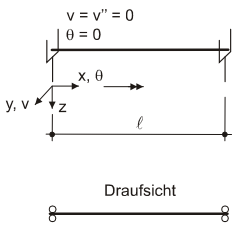

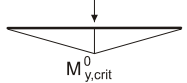
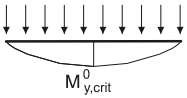
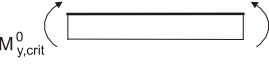
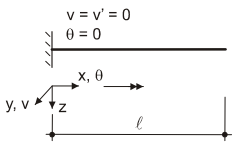
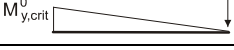
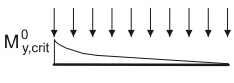
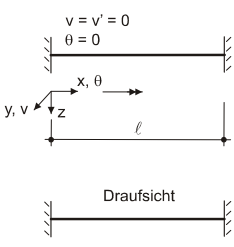
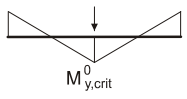
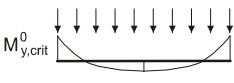
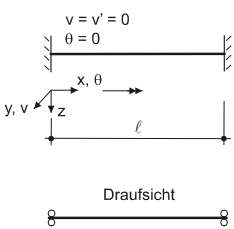
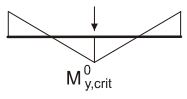
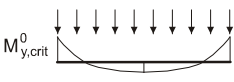
$$l_{ef} = \frac{l}{a_1 \cdot \left[1 - a_2 \cdot \frac{a_z}{l} \cdot \sqrt{\frac{B}{T}} \right]}$$


l 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

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

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

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

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

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

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

Holzart	GL 24c	GL 24h	GL28c	GL 28h	GL 30c	GL 30h	GL 32c	GL 32h
$f_{m,k}$ [N/mm ²]	24,0	24,0	28,0	28,0	30,0	30,0	32,0	32,0
$E_{0,05}$ [N/mm ²]	9100	9600	10400	10500	10800	11300	11200	11800
G_{05} [N/mm ²]	540	540	540	540	540	540	540	540
κ_m [-]	0,09566	0,09439	0,09993	0,09969	0,10246	0,10131	0,10487	0,10351

Der Beiwert κ_m ist unter Ansatz der Erhöhung der Steifigkeit um 40 % ermittelt

$\kappa_m = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05} \cdot G_{05}}}$

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

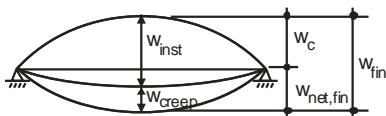
$M_{tor,d} = M_d / 80$

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_{inst} Anfangsdurchbiegung
- w_{creep} Durchbiegung infolge Kriechen
- w_{fin} Enddurchbiegung
- $w_{net,fin}$ Enddurchbiegung abzüglich Überhöhung

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

Grenzwerte der Verformung

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

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

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

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

Bestimmung der Durchbiegung

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

Empfohlene Werte der Durchbiegungen für Biegestäbe

	W_{inst}	$W_{net,fin}$	W_{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 Ein-Feld-Systeme beschränkt.

Bestimmung der Eigenfrequenz f_1

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

- ℓ Deckenspannweite in m
 $(EI)_\ell$ äquivalente Plattenbiegesteifigkeit der Decke um eine Achse rechtwinklig zur Balkenrichtung in Nm^2/m
 m Masse der Decke je Flächeneinheit in kg/m^2

Definition der Forderungen

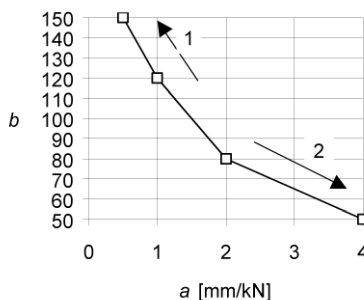
$$\frac{w}{F} \leq a \quad \text{in mm/kN}$$

$$v \leq b^{(\zeta_1 - 1)} \quad \text{in m/(Ns}^2\text{)}$$

- w größte vertikale Anfangsverformung einer konzentrierten Einzellast F in mm
 F konzentrierte Einzellast in kN
 v Einheitsimpuls geschwindigkeitsreaktion in m/s
 ζ modaler Dämpfungsgrad (0,01 wenn nicht anders definiert)

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: $b = 110 - 15 \cdot a$



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

- ℓ Deckenspannweite in m
 b Deckenbreite in m
 m Masse der Decke je Flächeneinheit in kg/m^2
 n_{40} Anzahl der Schwingungen 1. Ordnung mit einer Resonanzfrequenz bis zu 40 Hz

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

- $(EI)_b$ 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 Einführungserlass 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 k_{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 α 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 BS11 auf BS14 angepasst. Auf Seite 10 die neue Bestimmungsgleichung für k_{shape} nach DIN EN 1995-1-1/A2:2014-07 für rechteckige Querschnitte zusätzlich angegeben.
 - Am 16.04.2016 Einarbeitung der Festigkeiten für Brettschichtholz nach DIN EN 14080, Anpassungen auf den Seiten 4, 7, 8, 11 und 14.
 - Am 04.05.2020 Einarbeitung der Festigkeits- und Steifigkeitswerte von Vollhölzern nach DIN EN 338:2016-07 auf den Seiten 4, 7 und 11.
-