

Bemessung und Konstruktion im Holzbau – Formelsammlung

Für Holzbau nach DIN 1052:2008-12

Zusammengestellt von: Dr. Holger Schopbach



Charakteristische Materialkennwerte: Nadelholz und Brettschichtholz 1-1

		Nadelholz		Brettschichtholz								
Festigkeitsklasse		C24	C30	GL24		GL28		GL32		GL36		
				h	c	h	c	h	c	h	c	
Festigkeitskennwerte [N/mm ²]												
Biegung		f _{m,k}	24 ¹⁾	30 ¹⁾	24 ⁴⁾⁵⁾		28 ⁴⁾⁵⁾		32 ⁴⁾⁵⁾		36 ⁴⁾⁵⁾	
Zug	parallel	f _{t,0,k}	14 ¹⁾	18 ¹⁾	16,5	14	19,5	16,5	22,5	19,5	26	22,5
	rechtwinklig	f _{t,90,k}	0,4		0,5							
Druck	parallel	f _{c,0,k}	21 ¹⁾	23 ¹⁾	24	21	26,5	24	29	26,5	31	29
	rechtwinklig	f _{c,90,k}	2,5	2,7	2,7	2,4	3	2,7	3,3	3	3,6	3,3
Schub und Torsion		f _{v,k}	2 ²⁾		2,5							
Rollschub		f _{R,k}	1		1							
Steifigkeitskennwerte [N/mm ²]												
Elastizitätsmodul	parallel	E _{0,mean}	11000 ¹⁾	12000 ¹⁾	11600		12600		13700		14700	
	rechtwinklig	E _{90,mean}	370	400	390	320	420	390	460	420	490	460
Schubmodul		G _{mean}	690	750	720	590	780	720	850	780	910	850
Rollschubmodul		G _{R,mean}	69	75	72	59	78	72	85	78	91	85
Rohdichtekennwerte [kg/m ³]												
Rohdichte		ρ _k	350	380	380	350	410	380	430	410	450	430

Anmerkungen für Nadelholz

- Bei nur von Rinde und Bast befreitem Nadelrundholz dürfen in den Bereichen ohne Schwächung der Randzone um 20 % erhöhte Werte in Rechnung gestellt werden.
- Bei Biegeträgern darf die Schubfestigkeit in Bereichen, die mind. 1,5 m vom Hirnholzende entfernt liegen, um 30% erhöht werden.
- Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte E_{0,05}, E_{90,05} und G₀₅ von Nadelholz gelten die Rechenwerte:
 $E_{0,05} = 2/3 \cdot E_{0,mean}$ $E_{90,05} = 2/3 \cdot E_{90,mean}$ $G_{05} = 2/3 \cdot G_{mean}$

Anmerkungen für Brettschichtholz

- Bei Flachkant-Biegebeanspruchung der Lamellen von Brettschichtholzträgern mit h ≤ 600 mm darf der charakteristische Festigkeitswert mit dem Beiwert k_h = multipliziert werden.

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,14}; 1,1 \right\}$$

h	120 – 300	320	360	400	440	480	520	560	≥ 600
k _h	1,10	1,09	1,07	1,06	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00

- Bei Hochkant-Biegebeanspruchung der Lamellen von homogenem Brettschichtholz aus mindestens vier nebeneinander liegenden Lamellen darf der charakteristische Festigkeitswert mit dem Systembeiwert k₁ = 1,2 multipliziert werden.
- Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte E_{0,05}, E_{90,05} und G₀₅ von Brettschichtholz gelten die Rechenwerte:
 $E_{0,05} = 5/6 \cdot E_{0,mean}$ $E_{90,05} = 5/6 \cdot E_{90,mean}$ $G_{05} = 5/6 \cdot G_{mean}$

$$\text{Bemessungswert: } f_d = f_k \cdot k_{mod} / \gamma_M \quad (\gamma_{M, Holz} = 1,3)$$

Charakteristische Materialkennwerte: OSB- und Spanplatten

1-2

OSB/2 und OSB/3 nach DIN EN 13986

Beanspruchung		parallel zur Spanrichtung der Deckschicht			rechtwinklig zur Spanrichtung der Deckschicht		
		> 6 bis 10	> 10 bis 18	> 18 bis 25	> 6 bis 10	> 10 bis 18	> 18 bis 25
Nennstärke der Platten [mm]							
Festigkeitskennwerte [N/mm ²]							
Plattenbeanspruchung							
Biegung	$f_{m,k}$	18,0	16,4	14,8	9,0	8,2	7,4
Druck	$f_{c,90,k}$	10,0					
Schub	$f_{v,k}$	1,0					
Scheibenbeanspruchung							
Biegung	$f_{m,k}$	9,9	9,4	9,0	7,2	7,0	6,8
Zug	$f_{t,k}$	9,9	9,4	9,0	7,2	7,0	6,8
Druck	$f_{c,k}$	15,9	15,4	14,8	12,9	12,7	12,4
Schub	$f_{v,k}$	6,8					
Steifigkeitskennwerte [N/mm ²]							
Plattenbeanspruchung							
Elastizitätsmodul	$E_{mean}^{1)}$	4930			1980		
Schubmodul	$G_{mean}^{1)}$	50					
Scheibenbeanspruchung							
Elastizitätsmodul	$E_{mean}^{1)}$	3800			3000		
Schubmodul	$G_{mean}^{1)}$	1080					
Rohdichtekennwerte [kg/m ³]							
Rohdichte	ρ_k	550					

Kunstharzgebundene Spanplatten P4 und P5 nach DIN EN 13986

Beanspruchung		P4			P5		
		> 6 bis 13	> 13 bis 20	20 > bis 25	> 6 bis 13	> 13 bis 20	20 > bis 25
Nennstärke der Platten [mm]							
Festigkeitskennwerte [N/mm ²]							
Plattenbeanspruchung							
Biegung	$f_{m,k}$	14,2	12,5	10,8	15,0	13,3	11,7
Druck	$f_{c,90,k}$	10,0					
Schub	$f_{v,k}$	1,8	1,6	1,4	1,9	1,7	1,5
Scheibenbeanspruchung							
Biegung	$f_{m,k}$	8,9	7,9	6,9	9,4	8,5	7,4
Zug	$f_{t,k}$	8,9	7,9	6,9	9,4	8,5	7,4
Druck	$f_{c,k}$	12,0	11,1	9,6	12,7	11,8	10,3
Schub	$f_{v,k}$	6,6	6,1	5,5	7,0	6,5	5,9
Steifigkeitskennwerte [N/mm ²]							
Plattenbeanspruchung							
Elastizitätsmodul	$E_{mean}^{2)}$	3200	2900	2700	3500	3300	3000
Schubmodul	$G_{mean}^{2)}$	200			200		
Scheibenbeanspruchung							
Elastizitätsmodul	$E_{mean}^{2)}$	1800	1700	1600	2000	1900	1800
Schubmodul	$G_{mean}^{2)}$	860	830	770	960	930	860
Rohdichtekennwerte [kg/m ³]							
Rohdichte	ρ_k	650	600	550	650	600	550

Anmerkungen für OSB-Platten

1) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$ und G_{05} von OSB-Platten gelten die Rechenwerte:

$$E_{0,05} = 0,85 \cdot E_{0,mean} \quad G_{05} = 0,85 \cdot G_{mean}$$

Anmerkungen für kunstharzgebundene Spanplatten

2) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$ und G_{05} von OSB-Platten gelten die Rechenwerte:

$$E_{0,05} = 0,8 \cdot E_{0,mean} \quad G_{05} = 0,8 \cdot G_{mean}$$

Bemessungswert: $f_d = f_k \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($\gamma_{M, Holz} = 1,3$)

Modifikationsbeiwert k_{mod}											1-3
KLED	Vollholz, ¹⁾ Brettschichtholz, Balkenschichtholz, ²⁾ Furnierschichtholz, Brettsperrholz, Sperrholz ³⁾	Kunstharz- und zement- gebundene Spanplatten, Faserplatten HB.HLA2 ⁵⁾			OSB-Platten OSB/2 ⁴⁾ , OSB/3, OSB/4			Gipskartonplatten GKB ⁴⁾ , GKF ⁴⁾ , GKBI, GKFI, Faserplatten MBH.LA2 ⁵⁾			
	NKL										
	1 und 2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ständig	0,6	0,5	0,3	0,2	—	0,4	0,3	—	0,2	0,15	—
lang	0,7	0,55	0,45	0,3	—	0,5	0,4	—	0,4	0,3	—
mittel	0,8	0,65	0,65	0,45	—	0,7	0,55	—	0,6	0,45	—
kurz	0,9	0,7	0,85	0,6	—	0,9	0,7	—	0,8	0,6	—
sehr kurz	1,1	0,9	1,1	0,8	—	1,1	0,9	—	1,1	0,8	—
1) Keilgezinktes Vollholz nur zulässig in NKL 1 und 2 2) Nur zulässig in NKL 1 und 2 3) Technische Klasse „Trocken“ nur für NKL 1, „Feucht“ für NKL 1 und 2, „Außen“ für alle NKL						4) Nur zulässig in NKL 1 5) Für tragende und aussteifende Zwecke nur in NKL 1 und 2 (HB.HLA2) bzw. nur in NKL 1 (MBH.LA2)					

Verformungsbeiwert k_{def}							1-4
NKL	Vollholz ¹⁾²⁾ Brettschichtholz Balkenschichtholz ³⁾ Furnierschichtholz (Furniere faserparallel), Brettsperrholz	Furnierschicht- holz (mit Querfurnieren), Sperrholz ⁴⁾	Spanplatten zement- gebunden	Spanplatten kunstharz- gebunden (P4 ⁵⁾ , P5, P6 ⁵⁾ , P7)	Faserplatten HB.HLA2 ⁶⁾	OSB-Platten OSB/2 ⁴⁾ , OSB/3, OSB/4	Gipskartonplatten GKB ⁵⁾ , GKF ⁵⁾ , GKBI, GKFI Faserplatten MBH.LA2 ⁶⁾
1	0,6	0,8	2,25	2,25	1,5	3,0	
2	0,8	1,0	3,0	3,0	2,25	4,0	
3	2,0	2,5	—	—	—	—	
1) Vollholz mit Einbaufeuchte > 30%: NKL 1: 1,6; NKL 2: 1,8; NKL 3: 3,0 2) Keilgezinktes Vollholz nur zulässig in NKL 1 und 2 3) Nur zulässig in NKL 1 und 2				4) Technische Klasse „Trocken“ nur für NKL 1, „Feucht“ für NKL 1 und 2, „Außen“ für alle NKL 5) Nur zulässig in NKL 1 6) Für tragende und aussteifende Zwecke nur in NKL 1 und 2 (HB.HLA2) bzw. nur in NKL 1 (MBH.LA2)			

Rechenwerte für das Schwind- und Quellmaß rechtwinklig zur Faser bzw. in Plattenebene			1-5
Vollholz ¹⁾	Schwind- und Quellmaß in % für Änderungen der Holzfeuchte um 1% unterhalb des Fasersättigungsbereiches		Holzwerkstoffe
Fichte, Kiefer, Tanne, Lärche Douglasie, Eiche	0,24	0,02	Sperrholz, Brettsperrholz
Buche	0,30	0,035	Kunstharzgeb. Spanplatte, Faserplatte (hart/mittelhart)
Teak, Yellow Cedar	0,20	0,03	OSB/2, OSB/3, Zementgeb. Spanplatte
Azobé (Bongossi), Ipe	0,36	0,015	OSB/4
1) In Faserrichtung gilt ein Rechenwert von 0,01 %/%			

Nutzungsclassen NKL				1-6
NKL	Gleichgewichtsfeuchte u des Holzes	Umgebungsclima	Beispiel	
1	5 – 15% ¹⁾ (mittlere Ausgleichsfeuchte ≤ 12%)	20 °C und 65% rel. Luftfeuchtigkeit, die nur für einige Wochen pro Jahr überschritten wird	beheizte Innenräume	
2	10 – 20% ²⁾ (mittlere Ausgleichsfeuchte ≤ 20%)	20 °C und 85% rel. Luftfeuchtigkeit, die nur für einige Wochen pro Jahr überschritten wird	überdachte, offene Tragwerke	
3	12 – 24%	Klimabedingungen, die zu höheren Holzfeuchten führen	frei der Witterung ausgesetzte Bauteile	

1) In den meisten Nadelhölzern wird in der Nutzungsclassen 1 eine mittlere Ausgleichsfeuchte von 12 % nicht überschritten.
2) In den meisten Nadelhölzern wird in der Nutzungsclassen 2 eine mittlere Ausgleichsfeuchte von 20 % nicht überschritten.

Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED)				1-7
Klassen der Lasteinwirkungsdauer KLED	Größenordnung der akkumulierten Dauer der char. Lasteinwirkung	Beispiele		
ständig	länger als 10 Jahre	Eigenlasten		
lang	6 Monate bis 10 Jahre	Nutzlasten für Werkstattdecken		
mittel	1 Woche bis 6 Monate	Nutzlasten für Wohnungsdecken		
kurz	kürzer als eine Woche	Windlast		
sehr kurz	kürzer als eine Minute	Anpralllasten		

Bei Lastkombinationen aus Einwirkungen, die zu verschiedenen KLED gehören, ist für die Bestimmung von k_{mod} die Einwirkung mit der kürzesten Dauer maßgebend; nur für diese Zeitspanne treten die Einwirkungen gleichzeitig auf.

Teilsicherheitsbeiwerte γ_G , γ_Q und γ_M								1-8
Einwirkungen				Material				
Tragfähigkeit		Gebrauchstauglichkeit		Tragfähigkeit			Gebrauchstauglichkeit	
ständige Einwirkung γ_G	veränderliche Einwirkung γ_Q	ständige Einwirkung γ_G	veränderliche Einwirkung γ_Q	Holz, Holzwerkstoffe γ_M	Stahl in Verbindungen		γ_M	
					Biegung γ_M	Zug/Scheren, Nagelplatten γ_M		
1,35 (1,0 ¹⁾)	1,50 (0 ¹⁾)	1,00	1,00	1,30	1,10	1,25	1,00	

1) Klammerwerte für günstige Einwirkung

Einteilung der Einwirkungen und Beiwerte		1-9		
		KLED	ψ_0	ψ_2
Eigenlasten G_k nach DIN 1055-1		ständig	1,0	1,0
Kategorie	Lotrechte Nutzlasten $Q_{k,N}$ nach DIN 1055-3			
A	Spitzböden, Wohn- und Aufenthaltsräume	mittel	0,7	0,3
B	Büroflächen, Arbeitsflächen, Flure	mittel	0,7	0,3
C	Räume, Versammlungsräume und Flächen, die der Ansammlung von Personen dienen können (mit Ausnahme von unter A, B, D und E festgelegten Kategorien)	kurz	0,7	0,6
D	Verkaufsräume	mittel	0,7	0,6
E	Fabriken und Werkstätten, Ställe, Lagerräume und Zugänge, Flächen mit erheblichen Menschenansammlungen	lang	1,0	0,8
F	Verkehrs- und Parkflächen für leichte Fahrzeuge (Gesamtlast ≤ 25 kN) Zufahrtsrampen zu diesen Flächen	mittel kurz	0,7	0,6
G	Flächen für den Betrieb mit Gegengewichtsstaplern	mittel	0,7	0,3
H	nicht begehbare Dächer, außer für übliche Erhaltungsmaßnahmen, Reparaturen	kurz	0	0
K	Hubschrauber Regellasten	kurz		
T	Treppen und Treppenpodeste	kurz	¹⁾	¹⁾
Z	Zugänge, Balkone und Ähnliches	kurz	¹⁾	¹⁾
Horizontale Nutzlasten $Q_{k,N}$ nach DIN 1055-3				
	Horizontale Nutzlasten infolge von Personen auf Brüstungen, Geländern und anderen Konstruktionen, die als Absperrung dienen	kurz		
	Horizontallasten zur Erzielung einer ausreichenden Längs- und Quersteifigkeit	²⁾		
	Horizontallasten für Hubschrauberlandeplätze auf Dachdecken, für horizontale Nutzlasten, für den Überrollschutz	kurz sehr kurz		
Windlasten $Q_{k,W}$ nach DIN 1055-4		kurz	0,6	0
Schnee- und Eislasten $Q_{k,S}$ nach DIN 1055-5				
	Geländehöhe des Bauwerkstandortes über NN ≤ 1000 m	kurz	0,5	0
	Geländehöhe des Bauwerkstandortes über NN > 1000 m	mittel	0,7	0,2
Anpralllasten nach DIN 1055-9		sehr kurz	-	-
Horizontallasten aus Kran- und Maschinenbetrieb nach DIN 1055-10		kurz		
1) Wie Kategorie, in der eingebaut.				
2) Entsprechend den zugehörigen Lasten.				

Einwirkungen

<p>Ständige Einwirkungen (G) <u>Eigenlasten</u> DIN 1055-1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen</p>	<p>Veränderliche Einwirkungen (Q) <u>Nutzlasten (Verkehrslasten)</u> DIN 1055-3: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten <u>Windlasten</u> DIN 1055-4: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Windlasten <u>Schneelasten</u> DIN 1055-5: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 5: Schnee- und Eislasten</p>	<p>Außergewöhnliche Einwirkungen (A) <u>Brand</u> <u>Explosion</u> <u>Anprall</u> DIN 1055-9: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 9: Außergewöhnliche Einwirkungen</p>
--	--	---

Kombinationsgrundregel

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation: $\gamma_G \times G_k + \gamma_{Q,1} \times Q_{k,1} + \sum_{j=2}^n \psi_{0,j} \times \gamma_{Q,j} \times Q_{k,j}$

Außergewöhnliche Bemessungssituation: $\gamma_{GA} \times G_k + A_d + \psi_1 \times Q_{k,1} + \sum_{j=2}^n \psi_{2,j} \times Q_{k,j}$

DIN 1055-100: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung - Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln

Beispiel zur Ermittlung möglicher Kombinationen

	Kombination	Eigenlast g	Nutzlast p	Schneelast s	Windlast w	KLED	$k_{mod}^{2)}$
1	g	1,35				ständig	0,6
2	g+p	1,35	1,5			mittel	0,8
3 ¹⁾	g+p+s	1,35	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$		kurz ³⁾	0,9
4 ¹⁾	g+p+s	1,35	$1,5 \cdot \psi_0$	1,5		kurz ³⁾	0,9
5 ¹⁾	g+p+w	1,35	1,5		$1,5 \cdot \psi_0$	kurz	0,9
6 ¹⁾	g+p+w	1,35	$1,5 \cdot \psi_0$		1,5	kurz	0,9
7	g+p+s+w	1,35	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	kurz	0,9
8	g+p+s+w	1,35	$1,5 \cdot \psi_0$	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	kurz	0,9
9	g+p+s+w	1,35	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	1,5	kurz	0,9

1) Vernachlässigbar; Kombinationen 7 bis 9 müssen zu höheren Einwirkungen führen

2) Annahme: Voll- oder Brettschichtholz, Nutzungsklasse 2

3) Geländehöhe des Bauwerks über NN < 1000 m

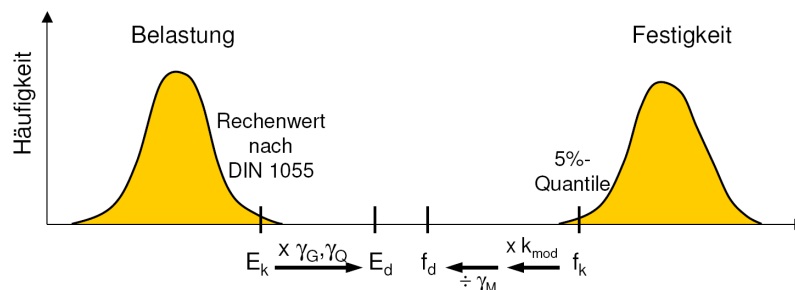
Vereinfachte Kombinationsregel

$$1,35 \times G_k + 1,5 \times Q_{k,1}$$

$$1,35 \times G_k + 1,35 \times \sum Q_{k,j}$$

Der jeweils ungünstigere Wert ist maßgebend.

Ablauf der Bemessung



$$E_d \leq R_d \text{ bzw. } \sigma_d \leq f_d$$

Querschnittschwächungen

1-11

Querschnittschwächungen, z. B. durch Bohrungen, Einfräsungen und Einschnitte, sind rechnerisch zu berücksichtigen. Die Nachweisführung erfolgt mit $A_{\text{Netto}}: A_n = A - \Delta A$ (Nutzbare Querschnittsfläche); unter ΔA versteht man durch Verbindungsmittel und Einschnitte entstehende Querschnittschwächungen.

Nicht berücksichtigt werden Löcher und Aussparungen, wenn sie in der Druckzone von Holzbauteilen liegen und wenn sie mit einem Baustoff ausgefüllt sind, dessen Steifigkeit mindestens der des Holzes oder Holzwerkstoffes entspricht. Baumkanten, die den Sortierkriterien der DIN 4074-1 entsprechen, gelten ebenfalls nicht als Querschnittschwächung

Querschnittschwächungen durch Verbindungsmittel

Verbindungsmittel		Fehlfläche	Erläuterung
Nägel	nicht vorgebohrt	$d \leq 6 \text{ mm}$: Schwächung wird vernachlässigt $d > 6 \text{ mm}$: $d \cdot b$	
	vorgebohrt ¹⁾	$d \cdot b$	
Klammern		Schwächung wird vernachlässigt	
Schrauben	nicht vorgebohrt	$d \leq 8 \text{ mm}$: Schwächung wird vernachlässigt $d > 8 \text{ mm}$: $d \cdot b$	
	vorgebohrt ¹⁾	$d \cdot b$	
Stabdübel, Passbolzen		$d \cdot b$	
Bolzen, Gewindestangen		$(d + 1 \text{ mm}) \cdot b$	
Dübel bes. Bauart	Mittelholz ²⁾	$2 \cdot \Delta A + (d + 1 \text{ mm}) \cdot b_M$	
	Seitenholz ²⁾	$\Delta A + (d + 1 \text{ mm}) \cdot b_S$	

Bei mehreren Verbindungsmittelreihen

--	--	--

Querschnittschwächungen durch Keilzinkenverbindungen nach DIN EN 385

Querschnitte mit Breiten bzw. Höhen bis 300 mm	Schwächung wird vernachlässigt	
Größere Abmessungen	$\Delta A = 0,2 \cdot b \cdot h$	

1) Bei vorgebohrten Verbindungsmitteln darf der Bohrlochdurchmesser angesetzt werden. Nägel sollten mit ca. 0,9 d vorgebohrt werden. Schrauben müssen im Schaftbereich mit d und sollten im Gewindebereich mit 0,6 d bis 0,8 d vorgebohrt werden.

2) Die Länge der Bohrlöcher darf rechnerisch um die Einlass-/ Einpresstiefe h_e der Dübel verringert werden.

3) Bei Keilzinkenverbindungen in Bauholz mit Breiten bzw. Höhen bis 300 mm braucht eine Schwächung nicht berücksichtigt werden.

Mindestdicken und -querschnitte tragender Bauteile

1-12

Vollholz ¹⁾	Brettschichtholz ²⁾	Sperrholz	Spanplatten kunstharzgebunden zementgebunden OSB-Platten	Faserplatten HB.HLA2	Faserplatten MBH.LA2	Gipskartonplatten GKB, GKF, GKBI, GKFI
Dicke $\geq 24 \text{ mm}$	Dicke $\geq 50 \text{ mm}$	Dicke $\geq 6 \text{ mm}$				
Querschnitt $\geq 1400 \text{ mm}^2$, Dachlatten $\geq 1100 \text{ mm}^2$	Querschnitt $\geq 5000 \text{ mm}^2$	≥ 5 Lagen ³⁾	Dicke $\geq 8 \text{ mm}^4)$	Dicke $\geq 4 \text{ mm}$	Dicke $\geq 6 \text{ mm}$	Dicke $\geq 12,5 \text{ mm}$

1) Bezogen auf 20% Holzfeuchte

2) Nach DIN EN 390, bezogen auf 12% Holzfeuchte

3) Mittragende Beplankungen von Wandtafeln ≥ 3 Lagen

4) Aussteifende Beplankungen von Holztafeln $\geq 6 \text{ mm}$ bei kunstharzgebundenen Spanplatten und OSB-Platten

Nachweise der Querschnittstragfähigkeit (Biegung und Schub)

2-1

Einachsige Biegung		Zweiachsige Biegung	
$\frac{M_{y,d}}{W_y} \leq 1$ $\frac{M_{z,d}}{W_z} \leq 1$	$M_{y,d}$ = Bemessungswert des Momentes W_y = Widerstandsmoment um y-Achse $f_{m,d}$ = Bemessungswert der Biegefestigkeit	$\frac{M_{y,d}}{W_y} + k_{red} \cdot \frac{M_{z,d}}{W_z} \leq 1$	$M_{y/z,d}$ = Bemessungswert des Momentes $W_{y/z}$ = Widerstandsmoment um y- / z-Achse $f_{m,d}$ = Bemessungswert der Biegefestigkeit $k_{red} = 0,7$ für Rechteckquerschnitte $h/b \leq 4$ $k_{red} = 1,0$ für andere Querschnitte
$\text{erf. } W_y = \frac{M_{y,d} [\text{kNm}] \cdot 1000}{f_{m,d} [\text{N/mm}^2]} [\text{cm}^3]$			
Schub aus Querkraft (für Rechteckquerschnitte)		Schub aus Querkraft bei Querdruck ¹⁾ (für Rechteckquerschn.)	
$\frac{1,5 \cdot \frac{V_d}{A}}{f_{v,d}} \leq 1$	V_d = Bemessungswert der Querkraft A = Querschnittsfläche des Trägers $f_{v,d}$ = Bemessungswert der Schubfestigkeit	$\frac{1,5 \cdot \frac{V_{d,red}}{A}}{f_{v,d}} \leq 1$	$V_{d,red}$ = Bemessungswert der reduzierten Querkraft Bei Gleichstreckenlast: $V_{red} = V_d - q \cdot (h + (0,5 \times b))$ Bei Einzellast: $V_{red} = V_d \cdot e / (2,5 \cdot h)$ A = Querschnittsfläche des Trägers $f_{v,d}$ = Bemessungswert der Schubfestigkeit
$\text{erf. } A = \frac{1,5 \cdot V_d [\text{kN}] \cdot 10}{f_{v,d} [\text{N/mm}^2]} [\text{cm}^2]$			
Schub aus Querkraft – Doppelbiegung (für Rechteckquers.)			
$\left(\frac{1,5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left(\frac{1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A}}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1$	$V_{y,d}$ = Bemessungswert der Querkraft in x-Richt. $V_{z,d}$ = Bemessungswert der Querkraft in z-Richt. A = Querschnittsfläche des Trägers $f_{v,d}$ = Bemessungswert der Schubfestigkeit		
1) gilt für Biegeträger mit Lastangriff am oberen Trägerrand und Auflagerung am unteren Trägerrand (ohne Ausklinkungen und Durchbrüche im Auflagerbereich); die Obergurtneigung darf bis zu 10° betragen.			

Nachweise der Querschnittstragfähigkeit (Druck und Zug)

2-2

Druck unter einem Winkel		Druck rechtwinklig zur Faser																																																																																																																																																																																																																								
$\frac{F_{c,\alpha,d}}{A_{ef}} \leq 1$ $k_{c,\alpha} \cdot f_{c,\alpha,d}$	$F_{c,\alpha,d}$ = maßgebende Kraft A_{ef} = wirksame Querdru­ckfläche (in Faserrichtung um bis zu 2x30 mm verlängert) $k_{c,\alpha} = 1 + (k_{c,90} - 1) \cdot \sin \alpha$ $f_{c,\alpha,d}$ = Bemessungswert der Druckfestigkeit unter dem Winkel α $f_{c,\alpha,d} = k_{\alpha,c} \times f_{c,0,d}$	$\frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \leq 1$ $k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$	$F_{c,90,d}$ = maßgebende Kraft A_{ef} = wirksame Querdru­ckfläche (in Faserrichtung um bis zu 2x30 mm verlängert (bei $l \geq 30$ mm)) $f_{c,90,d}$ = Bemessungswert der Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung $k_{c,90}$ = Beiwert																																																																																																																																																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">α</th> <th colspan="2">$k_{c,\alpha}$</th> <th colspan="2">Schwelle</th> <th colspan="2">Auflager</th> <th colspan="2">NH</th> <th colspan="3">BSH</th> </tr> <tr> <th>NH</th> <th>BSH</th> <th>NH</th> <th>BSH</th> <th>C24</th> <th>C30</th> <th>GL24h</th> <th>GL28h</th> <th>GL32h</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5</td><td>1,022</td><td>1,044</td><td>1,044</td><td>1,065</td><td>0,922</td><td>0,907</td><td>0,934</td><td>0,920</td><td>0,906</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>1,043</td><td>1,087</td><td>1,087</td><td>1,130</td><td>0,759</td><td>0,729</td><td>0,785</td><td>0,754</td><td>0,725</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>1,065</td><td>1,129</td><td>1,129</td><td>1,194</td><td>0,603</td><td>0,571</td><td>0,629</td><td>0,596</td><td>0,566</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>1,086</td><td>1,171</td><td>1,171</td><td>1,257</td><td>0,481</td><td>0,453</td><td>0,499</td><td>0,472</td><td>0,448</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td>1,106</td><td>1,211</td><td>1,211</td><td>1,317</td><td>0,389</td><td>0,368</td><td>0,400</td><td>0,381</td><td>0,362</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>1,125</td><td>1,250</td><td>1,250</td><td>1,375</td><td>0,322</td><td>0,305</td><td>0,326</td><td>0,313</td><td>0,300</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>35</td><td>1,143</td><td>1,287</td><td>1,287</td><td>1,430</td><td>0,271</td><td>0,259</td><td>0,271</td><td>0,262</td><td>0,254</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>40</td><td>1,161</td><td>1,321</td><td>1,321</td><td>1,482</td><td>0,233</td><td>0,224</td><td>0,230</td><td>0,224</td><td>0,219</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>45</td><td>1,177</td><td>1,354</td><td>1,354</td><td>1,530</td><td>0,204</td><td>0,197</td><td>0,199</td><td>0,196</td><td>0,192</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>50</td><td>1,192</td><td>1,383</td><td>1,383</td><td>1,575</td><td>0,181</td><td>0,176</td><td>0,176</td><td>0,174</td><td>0,171</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>60</td><td>1,217</td><td>1,433</td><td>1,433</td><td>1,650</td><td>0,150</td><td>0,147</td><td>0,144</td><td>0,143</td><td>0,143</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>70</td><td>1,235</td><td>1,470</td><td>1,470</td><td>1,705</td><td>0,132</td><td>0,129</td><td>0,125</td><td>0,126</td><td>0,126</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>80</td><td>1,246</td><td>1,492</td><td>1,492</td><td>1,739</td><td>0,122</td><td>0,120</td><td>0,116</td><td>0,116</td><td>0,117</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>90</td><td>1,250</td><td>1,500</td><td>1,500</td><td>1,750</td><td>0,119</td><td>0,117</td><td>0,113</td><td>0,113</td><td>0,114</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		α	$k_{c,\alpha}$		Schwelle		Auflager		NH		BSH			NH	BSH	NH	BSH	C24	C30	GL24h	GL28h	GL32h			5	1,022	1,044	1,044	1,065	0,922	0,907	0,934	0,920	0,906			10	1,043	1,087	1,087	1,130	0,759	0,729	0,785	0,754	0,725			15	1,065	1,129	1,129	1,194	0,603	0,571	0,629	0,596	0,566			20	1,086	1,171	1,171	1,257	0,481	0,453	0,499	0,472	0,448			25	1,106	1,211	1,211	1,317	0,389	0,368	0,400	0,381	0,362			30	1,125	1,250	1,250	1,375	0,322	0,305	0,326	0,313	0,300			35	1,143	1,287	1,287	1,430	0,271	0,259	0,271	0,262	0,254			40	1,161	1,321	1,321	1,482	0,233	0,224	0,230	0,224	0,219			45	1,177	1,354	1,354	1,530	0,204	0,197	0,199	0,196	0,192			50	1,192	1,383	1,383	1,575	0,181	0,176	0,176	0,174	0,171			60	1,217	1,433	1,433	1,650	0,150	0,147	0,144	0,143	0,143			70	1,235	1,470	1,470	1,705	0,132	0,129	0,125	0,126	0,126			80	1,246	1,492	1,492	1,739	0,122	0,120	0,116	0,116	0,117			90	1,250	1,500	1,500	1,750	0,119	0,117	0,113	0,113	0,114			<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">$k_{c,90}$</th> <th colspan="2">Auflagerdruck</th> <th colspan="2">Schwellendruck</th> </tr> <tr> <th>$l_1 < 2h$</th> <th>$l_1 \geq 2h$</th> <th>$l_1 < 2h$</th> <th>$l_1 \geq 2h$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Baustoff</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NH</td> <td>1,0</td> <td>1,50</td> <td>1,0</td> <td>1,25</td> </tr> <tr> <td>BSH</td> <td></td> <td>1,75</td> <td></td> <td>1,50</td> </tr> </tbody> </table>		$k_{c,90}$	Auflagerdruck		Schwellendruck		$l_1 < 2h$	$l_1 \geq 2h$	$l_1 < 2h$	$l_1 \geq 2h$	Baustoff					NH	1,0	1,50	1,0	1,25	BSH		1,75		1,50
α	$k_{c,\alpha}$		Schwelle		Auflager		NH		BSH																																																																																																																																																																																																																	
	NH	BSH	NH	BSH	C24	C30	GL24h	GL28h	GL32h																																																																																																																																																																																																																	
5	1,022	1,044	1,044	1,065	0,922	0,907	0,934	0,920	0,906																																																																																																																																																																																																																	
10	1,043	1,087	1,087	1,130	0,759	0,729	0,785	0,754	0,725																																																																																																																																																																																																																	
15	1,065	1,129	1,129	1,194	0,603	0,571	0,629	0,596	0,566																																																																																																																																																																																																																	
20	1,086	1,171	1,171	1,257	0,481	0,453	0,499	0,472	0,448																																																																																																																																																																																																																	
25	1,106	1,211	1,211	1,317	0,389	0,368	0,400	0,381	0,362																																																																																																																																																																																																																	
30	1,125	1,250	1,250	1,375	0,322	0,305	0,326	0,313	0,300																																																																																																																																																																																																																	
35	1,143	1,287	1,287	1,430	0,271	0,259	0,271	0,262	0,254																																																																																																																																																																																																																	
40	1,161	1,321	1,321	1,482	0,233	0,224	0,230	0,224	0,219																																																																																																																																																																																																																	
45	1,177	1,354	1,354	1,530	0,204	0,197	0,199	0,196	0,192																																																																																																																																																																																																																	
50	1,192	1,383	1,383	1,575	0,181	0,176	0,176	0,174	0,171																																																																																																																																																																																																																	
60	1,217	1,433	1,433	1,650	0,150	0,147	0,144	0,143	0,143																																																																																																																																																																																																																	
70	1,235	1,470	1,470	1,705	0,132	0,129	0,125	0,126	0,126																																																																																																																																																																																																																	
80	1,246	1,492	1,492	1,739	0,122	0,120	0,116	0,116	0,117																																																																																																																																																																																																																	
90	1,250	1,500	1,500	1,750	0,119	0,117	0,113	0,113	0,114																																																																																																																																																																																																																	
$k_{c,90}$	Auflagerdruck		Schwellendruck																																																																																																																																																																																																																							
	$l_1 < 2h$	$l_1 \geq 2h$	$l_1 < 2h$	$l_1 \geq 2h$																																																																																																																																																																																																																						
Baustoff																																																																																																																																																																																																																										
NH	1,0	1,50	1,0	1,25																																																																																																																																																																																																																						
BSH		1,75		1,50																																																																																																																																																																																																																						
Druck in Faserrichtung		Zug in Faserrichtung																																																																																																																																																																																																																								
$\frac{F_{c,0,d}}{A} \leq 1$ $f_{c,0,d}$	$F_{c,0,d}$ = maßgebende Kraft A = Druckfläche $f_{c,0,d}$ = Bemessungswert der Druckfestigkeit in Faserrichtung	$\frac{F_{t,0,d}}{A_n} \leq 1$ $f_{t,0,d}$	$F_{t,0,d}$ = maßgebende Kraft A_n = Querschnittsfläche (Netto) $f_{t,0,d}$ = Bemessungswert der Zugfestigkeit in Faserrichtung																																																																																																																																																																																																																							

Druckstab mit mittigem Druck

$\frac{F_{c,0,d}}{A} \leq k_c \cdot f_{c,0,d}$	<p>$F_{c,0,d}$ = maßgebende Kraft A = Druckfläche $f_{c,0,d}$ = Bemessungswert der Druckfestigkeit in Faserrichtung k_c = Knickbeiwert</p>	$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} \leq 1$	<p>$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2]$ β_c: 0,2 für Vollholz, Balkenschichtholz 0,1 für BSH, Holzwerkstoffe</p> <p>$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$ $\lambda = l_{ef}/i$ $l_{ef} = \beta \cdot h$ $i = \text{Trägheitsradius}$: $i_y = 0,289 \cdot h$: $i_z = 0,289 \cdot b$</p>
--	---	---	---

<p>Eulerfall 1</p> <p>$\beta = 2$ $l_{ef} = 2h$</p>	<p>Eulerfall 2</p> <p>$\beta = 1$ $l_{ef} = h$</p>	<p>Eulerfall 3</p> <p>$\beta = 0,7$ $l_{ef} = 0,7h$</p>	<p>Eulerfall 4</p> <p>$\beta = 0,5$ $l_{ef} = 0,5h$</p>
---	--	---	---

Knickbeiwerte k_c

λ	C24		C30		GL24		GL28		GL32		GL36	
	h	c	h	c	h	c	h	c	h	c	h	c
50	0,794	0,793	0,898	0,918	0,895	0,911	0,894	0,909	0,895	0,906		
55	0,736	0,734	0,858	0,888	0,854	0,878	0,852	0,874	0,853	0,870		
60	0,673	0,671	0,806	0,848	0,800	0,833	0,798	0,828	0,799	0,822		
65	0,610	0,608	0,743	0,796	0,735	0,777	0,733	0,771	0,734	0,763		
70	0,550	0,548	0,675	0,736	0,667	0,713	0,664	0,706	0,666	0,697		
75	0,495	0,494	0,609	0,673	0,601	0,648	0,598	0,641	0,600	0,632		
80	0,446	0,445	0,548	0,611	0,541	0,587	0,538	0,580	0,539	0,570		
85	0,403	0,402	0,494	0,554	0,487	0,531	0,484	0,524	0,486	0,515		
90	0,365	0,364	0,446	0,502	0,440	0,480	0,437	0,474	0,439	0,466		
95	0,332	0,331	0,404	0,456	0,398	0,436	0,396	0,430	0,397	0,422		
100	0,303	0,302	0,368	0,416	0,362	0,397	0,360	0,391	0,361	0,384		
105	0,277	0,276	0,336	0,380	0,331	0,363	0,329	0,358	0,330	0,351		
110	0,254	0,253	0,307	0,349	0,303	0,332	0,301	0,328	0,302	0,322		
115	0,234	0,233	0,283	0,321	0,278	0,306	0,276	0,301	0,277	0,296		
120	0,216	0,216	0,260	0,296	0,256	0,282	0,255	0,278	0,256	0,273		
125	0,200	0,200	0,241	0,274	0,237	0,261	0,236	0,257	0,236	0,252		
130	0,186	0,185	0,223	0,254	0,220	0,242	0,218	0,238	0,219	0,234		
135	0,173	0,173	0,208	0,236	0,204	0,225	0,203	0,222	0,204	0,217		
140	0,162	0,161	0,193	0,220	0,190	0,210	0,189	0,207	0,190	0,203		
145	0,151	0,151	0,181	0,206	0,178	0,196	0,177	0,193	0,177	0,189		
150	0,142	0,141	0,169	0,193	0,167	0,183	0,165	0,181	0,166	0,177		
155	0,133	0,133	0,159	0,181	0,156	0,172	0,155	0,169	0,156	0,166		
160	0,125	0,125	0,149	0,170	0,147	0,162	0,146	0,159	0,146	0,156		
165	0,118	0,118	0,140	0,160	0,138	0,152	0,137	0,150	0,138	0,147		
170	0,111	0,111	0,133	0,151	0,130	0,144	0,130	0,142	0,130	0,139		
175	0,105	0,105	0,125	0,143	0,123	0,136	0,122	0,134	0,123	0,131		
180	0,100	0,099	0,118	0,135	0,117	0,128	0,116	0,127	0,116	0,124		
185	0,095	0,094	0,112	0,128	0,110	0,122	0,110	0,120	0,110	0,118		
190	0,090	0,090	0,107	0,121	0,105	0,116	0,104	0,114	0,105	0,112		
195	0,086	0,085	0,101	0,115	0,100	0,110	0,099	0,108	0,099	0,106		
200	0,081	0,081	0,096	0,110	0,095	0,104	0,094	0,103	0,095	0,101		

Nachweise nach dem Ersatzstabverfahren

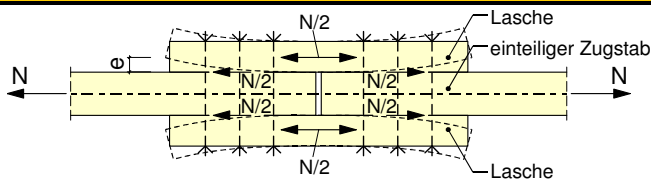
2-4

Knickbeiwerte k_c für Nadelholz C24

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	1,000										
10	1,000									0,999	0,995
20	0,991	0,987	0,983	0,979	0,975	0,970	0,966	0,961	0,957	0,952	
30	0,947	0,942	0,936	0,931	0,925	0,919	0,913	0,906	0,900	0,893	
40	0,885	0,878	0,870	0,861	0,853	0,844	0,834	0,825	0,815	0,804	
50	0,794	0,782	0,771	0,759	0,748	0,735	0,723	0,711	0,698	0,685	
60	0,673	0,660	0,647	0,635	0,622	0,610	0,597	0,585	0,573	0,561	
70	0,550	0,538	0,527	0,516	0,506	0,495	0,485	0,475	0,465	0,455	
80	0,446	0,437	0,428	0,420	0,411	0,403	0,395	0,387	0,380	0,372	
90	0,365	0,358	0,351	0,345	0,338	0,332	0,326	0,320	0,314	0,308	
100	0,303	0,297	0,292	0,287	0,282	0,277	0,272	0,267	0,263	0,258	
110	0,254	0,250	0,246	0,242	0,238	0,234	0,230	0,227	0,223	0,220	
120	0,216	0,213	0,210	0,206	0,203	0,200	0,197	0,194	0,192	0,189	
130	0,186	0,183	0,181	0,178	0,176	0,173	0,171	0,168	0,166	0,164	
140	0,162	0,159	0,157	0,155	0,153	0,151	0,149	0,147	0,145	0,144	
150	0,142	0,140	0,138	0,136	0,135	0,133	0,131	0,130	0,128	0,127	
160	0,125	0,124	0,122	0,121	0,119	0,118	0,117	0,115	0,114	0,113	
170	0,111	0,110	0,109	0,108	0,107	0,105	0,104	0,103	0,102	0,101	
180	0,100	0,099	0,098	0,097	0,096	0,095	0,094	0,093	0,092	0,091	
190	0,090	0,089	0,088	0,087	0,086	0,085	0,085	0,084	0,083	0,082	
200	0,081	0,081	0,080	0,079	0,078	0,078	0,077	0,076	0,075	0,075	

Symmetrische Zugverbindungen – Vereinfachter Nachweis

2-5



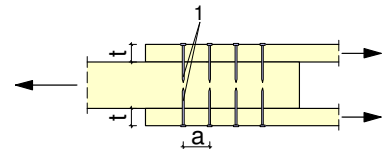
Falls kein genauere Nachweis geführt wird, darf beim Nachweis der Tragfähigkeit der einseitig beanspruchten Bauteile das Zusatzmoment vereinfacht durch eine Verminderung des Bemessungswertes der Zugtragfähigkeit berücksichtigt werden.

Holzschrauben, Bolzen, Passbolzen, nicht vorgebohrte Nägel

$$f_{t,0,k} \cdot 2/3$$

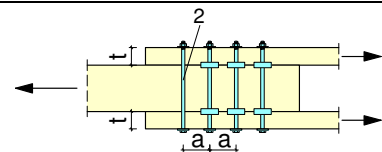
Stabdübel und vorgebohrte Nägel mit Maßnahmen zur Verhinderung der Verkrümmung¹⁾

$$f_{t,0,k} \cdot 2/3$$



Dübel besonderer Bauart mit Maßnahmen zur Verhinderung der Verkrümmung²⁾

$$f_{t,0,k} \cdot 2/3$$



Nachweis der ausziehfesten Verbindungsmittel mit:

$$F_{ax,d} = \frac{F_d \times t}{2 \times n \times a}$$

F_d Normalkraft in der einseitig beanspruchten Lasche

n Anzahl der zur Übertragung der Scherkraft in Richtung der Kraft F_d hintereinander angeordneten Verbindungsmittel, ohne die zusätzlichen ausziehfesten Verbindungsmittel

t Dicke der Lasche

a Abstand der auf Herausziehen beanspruchten Verbindungsmittel von der nächsten Verbindungsmittelreihe

Stabdübel, vorgebohrte Nägel und Dübel besonderer Bauart ohne Maßnahmen zur Verhinderung der Verkrümmung

$$f_{t,0,k} \cdot 0,4$$

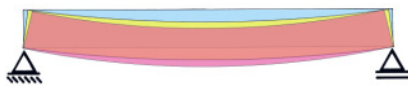
1) Ausziehfesten Verbindungsmittel in der ersten bzw. letzten Verbindungsmittelreihe anordnen.

2) Ausziehfesten Verbindungsmittel vor bzw. hinter dem eigentlichen Anschluss anordnen.

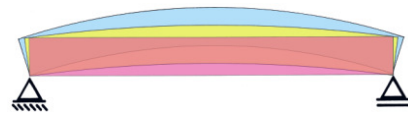
Gebrauchstauglichkeit – Allgemein

3-1

Verformungen ohne Überhöhung



Verformungen mit Überhöhung



■ Lastfreier Träger, ■ Durchbiegung aus Eigenlast (ständige Last), ■ Durchbiegung aus Eigen- und Nutzlast (veränderliche Last)

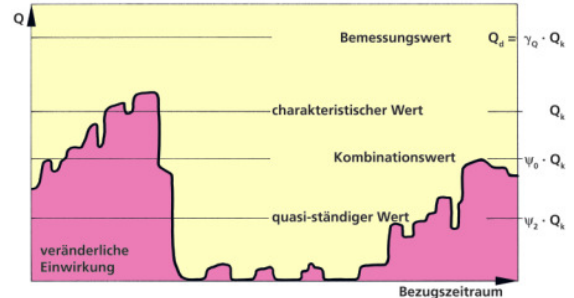
Zeitlich veränderliche Einwirkungen

Seltene (charakteristische) Kombination

$$E_d = G_k + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Quasi-ständige Kombination

$$E_d = G_k + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$



Die seltene (charakteristische) Kombination erfasst die nicht umkehrbaren (bleibenden) Auswirkungen auf das Tragwerk. Dabei berücksichtigt der Kombinationsbeiwert ψ_0 die Wahrscheinlichkeit, dass alle Veränderlichen gleichzeitig in voller Höhe auftreten.

Die quasi-ständige Kombination erfasst die Langzeitauswirkungen auf ein Bauteil. Dabei ist der Beiwert ψ_2 in der Regel so festgelegt, dass er als zeitlicher Mittelwert betrachtet wird, der mit einer Häufigkeit von 50 % über bzw. unterschritten wird (quasi-ständige Belastung). Im Holzbau werden die Kriechverformungen mit der quasi-ständigen Belastung bestimmt.

Kombinationsbeiwerte ψ : siehe Tafel 1-9.

Zeitabhängige Verformungen

Kriechen des Holzes muss im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt werden.

Kriechen wird durch den Verformungsbeiwert k_{def} berücksichtigt (siehe Tafel 1-3).

Erforderliches Flächenmoment bei Durchbiegungsbeschränkung

3-2

Nadelholz C24 und C30,
Brettschichtholz GL 24 und GL 28

Durchbiegungs- beschränkung	Belastungsfall															
	Faktor a				Faktor a				Faktor a				Faktor a			
	C24	C30	GL 24	GL 28	C24	C30	GL 24	GL 28	C24	C30	GL 24	GL 28	C24	C30	GL 24	GL 28
l/200	189	174	180	165	152	139	144	132	194	177	184	169	185	170	175	161
l/250	237	217	224	207	189	174	180	165	242	222	230	211	231	212	219	202
l/300	284	260	269	248	227	208	216	198	290	266	275	254	277	254	263	242

$$\text{Erf. } I [\text{cm}^4] = a \cdot \max. M_k [\text{kNm}] \cdot l [\text{m}]$$

a = Faktor lt. Tabelle
 max. M_k = für Durchsenkung maßgebendes char Biegemoment [kNm]
 l = Spannweite [m]

Gebrauchstauglichkeit – Verformungen

3-3

Bemessungssituationen¹⁾

Endverformung infolge ständiger Einwirkungen

$$w_{G,fin} = w_{G,inst} \cdot (1 + k_{def})$$

Endverformung infolge veränderlicher Einwirkungen

charakteristische (seltene) Situation

$$w_{Q,fin} = w_{Q,1,inst} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) + \sum_{i>1} w_{Q,i,inst} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})$$

quasi-ständige Situation

$$w_{Q,fin} = \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot w_{Q,i,inst} \cdot (1 + k_{def})$$

Nachweise und Grenzwerte¹⁾

Seltene (charakteristische) Kombination

Elastische Durchbiegung

$$w_{Q,inst} \leq l/300 \text{ (} l/150 \text{ bei Kragträgern)}$$

$$w_{Q,inst} = w_{Q,1,inst} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \times w_{Q,i,inst}$$

$$\text{Erf. } I_y^{(2)} = 35,5 \cdot q_k \cdot l^3$$

Quasi-ständige Kombination

$$w_{fin} - w_0 \leq l/200 \text{ (} l/100 \text{ bei Kragträgern)}$$

$$(w_{G,inst} + \psi_2 \times w_{Q,inst}) \times (1 + k_{def}) - w_0 \leq l/200$$

$$\text{Erf. } I_y^{(2)} = 23,63 \cdot (1,6 g_k + 0,48 q_k) \cdot l^3$$

Enddurchbiegung

$$w_{fin} - w_{G,inst} \leq l/200 \text{ (} l/100 \text{ bei Kragträgern)}$$

$$w_{G,inst} \times k_{def} + w_{Q,inst} \times (1 + \psi_2 \times k_{def}) \leq l/200$$

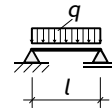
$$\text{Erf. } I_y^{(2)} = 23,63 \cdot (0,6 g_k + 1,18 q_k) \cdot l^3$$

Begrenzung der Durchbiegungen in der charakteristischen (seltene) Bemessungssituation zur Vermeidung von Schäden an Trennwänden, Installationen, Bekleidungen etc.

Begrenzung der Durchbiegungen in der quasi-ständigen Bemessungssituation zur Gewährleistung der allgemeinen Benutzbarkeit und des Erscheinungsbildes.

1) Für die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit sind die charakteristischen Werte der Einwirkungen zu verwenden (γ_G und $\gamma_Q = 1$).

2) Voraussetzungen: Einfeldträger aus NH C24 (E-Modul: 11.000 N/mm²) mit Gleichstreckenlast,
 $k_{def} = 0,6$, $\psi_2 = 0,3$,
 g_k = charakteristische Eigenlast [kN/m], q_k = charakteristische Nutzlast [kN/m], l = Spannweite [m]
 Bei abweichendem E-Modul Gleichung mit dem Faktor (11.000/E-Modul_{vorh.}) multiplizieren.



$$E_d \leq C_d$$

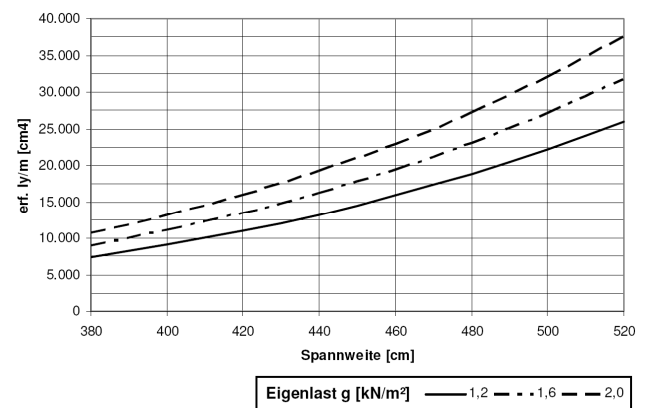
Gebrauchstauglichkeit - Schwingungen

3-4

Um bei Decken unter Wohnräumen Unbehagen verursachende Schwingungen zu vermeiden, sollten die Durchbiegungen aus ständiger und quasi-ständiger Einwirkung auf 6 mm begrenzt werden:

$$w_{G,inst} + \psi_2 \times w_{Q,inst} \leq 6 \text{ mm}$$

Erf. I_y pro Meter Deckenbreite zur Erfüllung des vereinfachten Schwingungsnachweises (6 mm bzw. 7,2 Hz) einer Holzbalkendecke (NH C24); Nutzlast 2,0 kN/m²



$$\text{Erf. } I_y^{(1)} = 19,73 \cdot (g_k + 0,3 q_k) \cdot l^4$$

1) Voraussetzungen: Einfeldträger aus NH C24, $\psi_2 = 0,3$
 g_k = charakteristische Eigenlast [kN/m],
 q_k = charakteristische Nutzlast [kN/m],
 l = Spannweite [m]
 Bei abweichendem E-Modul Gleichung mit dem Faktor (11.000/E-Modul_{vorh.}) multiplizieren

Für Holzbauteile mit vorwiegend ruhender Belastung darf ein Schwingungsnachweis in der Regel entfallen. Für Decken unter Turn-, Sport- und Tanzräumen etc. können besondere Untersuchungen notwendig sein.

Mehrfeldträger dürfen wie Einfeldträger angesetzt werden. Die Spannweite des Einfeldträgers ist bei Mehrfeldträgern die größte Feldweite l . Die elastische Einspannung in Nachbarfelder darf bei der Berechnung der Durchbiegung berücksichtigt werden. Tafel 7-2 enthält die entsprechenden K_{DLT} -Werte.

$$E_d \leq C_d$$

Charakteristische Nageltragfähigkeit pro Scherfuge (vereinfachter Nachweis)							4-1
Nadelholz C24 ¹⁾ , Brettschichtholz GL 24c ¹⁾ , Rohdichte $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$, Stahlzugfestigkeit $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$				nicht vorgebohrt		vorgebohrt	
		Mindestein- schlagtiefe 2),3)	Mindest- holzdicke 4)	Mindestholzdicke Spaltgefahr ⁵⁾		charakteristische Tragfähigkeit	charakteristische Tragfähigkeit
				$a_{2,t(c)} < 10d$	$a_{2,t(c)} \geq 10d$ oder Kiefernholz		
\varnothing [mm]	l [mm]	t_{req} [mm]	t_{req} [mm]	t_{req} [mm]	t_{req} [mm]	R_k [N]	R_k [N]
2,0	30, 40, 45	18	24 ⁶⁾	28	24	320	350
2,2	30, 40, 50	20	24 ⁶⁾	31	24	375	415
2,4	30, 40, 50	22	24 ⁶⁾	34	24	430	485
2,7	40, 50, 60	24	24	38	24	525	600
3,0	50, 60, 70, 80	27	27	42	24	625	725
3,4	60, 70, 80, 90	31	31	48	24	765	905
3,8	70, 80, 90, 100	34	34	53	27	920	1100
4,2	90, 100, 110	38	38	59	29	1090	1320
4,6	90, 100, 120	41	41	64	32	1260	1550
5,0	100, 120, 140	45	45	70	35	1450	1800
5,5	140	50	50	77	39	1690	2130
6,0	150, 160, 180	54	54	84	42	1950	2480
7,0	200	63	63	107	53	2520	3250
8,0	280	72	72	130	65	3140	4120
Nadelholz C30, Brettschichtholz GL 24h u. GL 30c				Multiplikation der vorstehenden R_k -Werte mit 1,042			
<p>1) Für abweichende Festigkeitsklassen ($\rho_k > 350 \text{ kg/m}^3$) muss R_k mit $\sqrt{\frac{\rho_k}{350}}$ multipliziert werden.</p> <p>2) Scherfugen mit Einschlagtiefen $< 4d$ dürfen nicht in Rechnung gestellt werden.</p> <p>3) Bei Scherfugen mit Einschlagtiefen von $4d \leq t < 9d$ ist R_k im Verhältnis t/t_{req} abzumindern.</p> <p>4) Bei Holzicken $t < t_{req}$ ist R_k im Verhältnis t/t_{req} abzumindern.</p> <p>5) Bei nicht vorgebohrten Nägeln ist die geforderte Mindestholzdicke wegen der größeren Spaltgefahr für das Holz unbedingt einzuhalten. Um die geforderten Dicken zu unterschreiten muss entweder Kiefernholz verwendet werden oder es sind größere Abstände senkrecht zur Faser zum beanspruchten bzw. unbeanspruchten Rand einzuhalten ($\geq 10d$).</p> <p>6) Mindestholzdicke entsprechend Abschnitt 7.2.3 (1); für Brettschichtholz gilt eine Mindestholzdicke entsprechend DIN EN 390 von 50 mm.</p>							
Falls $(t_2 - l)$ größer ist als $4d$, dürfen sich die Nägel, die von beiden Seiten in nicht vorgebohrte Nagellöcher eingeschlagen sind, im Mittelholz übergreifen.							
Bemessungswert: $R_d = R_k \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($\gamma_{M, \text{Stahl}} = 1,1$)							

Charakteristische Klammertragfähigkeit pro Scherfuge (vereinfachter Nachweis)

4-2

Nadelholz C24, Brettschichtholz GL 24c,
 Rohdichte $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$,
 Stahlzugfestigkeit $f_{t,k} = 800 \text{ N/mm}^2$

5 mm Stufung 10 mm Stufung		Mindestein- schlagtiefe <small>1),2)</small>	Nadelholz C24, Brettschichtholz GL 24c		OSB-Platten kunstharzgebund. Spanplatten		Sperrholz		Gipskarton	
\varnothing [mm]	Länge [mm]		t_{req} [mm]	Dicke [mm]	$R_k^{4)}$ [N]	Dicke [mm]	$R_k^{4)}$ [N]	Dicke [mm]	$R_k^{4)}$ [N]	Dicke [mm]
1,53	35 bis 75 -	13,8	$\geq 24^{3)}$	474	12	593	9	415	9,5	246
					13	595	12	494	12,5	356
					15	600	15	494	15	456
1,80	40 bis 75 -	16,2	$\geq 24^{3)}$	619	12	715	9	461	9,5	267
					13	753	12	615	12,5	386
					15	759	15	645	15	494
2,00	40 bis 75 80 bis 120	18,0	$\geq 24^{3)}$	737	12	749	9	494	9,5	281
					13	815	12	658	12,5	407
					15	884	15	768	15	521
2,10	40 bis 75 80 bis 120	18,9	$\geq 24^{3)}$	798	12	766	9	510	9,5	288
					13	833	12	679	12,5	417
					15	949	15	832	15	534

- 1) Scherfugen mit Einschlagtiefen $< 8d$ dürfen nicht in Rechnung gestellt werden.
- 2) Bei Scherfugen mit $8d \leq t < 9d$ ist R_k im Verhältnis t/t_{req} abzumindern.
- 3) Mindestholzdicke entsprechend Abschnitt 7.2.3 (1); für Brettschichtholz gilt eine Mindestholzdicke entsprechend DIN EN 390 von 50 mm.
- 4) Die charakteristische Tragfähigkeit gilt bei einem Winkel zwischen Klammerrücken und Holzfaserrichtung $\geq 30^\circ$. Beträgt der Winkel weniger als 30° , ist die charakteristische Tragfähigkeit um 30% abzumindern (Spaltgefahr).

Bemessungswert: $R_d = R_k \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}}$, $\gamma_{M, \text{Stahl}} = 1,1$)

Charakteristische Schraubentragfähigkeit pro Scherfuge (vereinfachter Nachweis)

4-3

Nadelholz C24 sowie Brettschichtholz GL 24c (Rohdichte $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$)¹⁾, Stahzugfestigkeit $f_{u,k} = 400 \text{ N/mm}^2$ ¹⁾

Schrauben $d \leq 8 \text{ mm}$ (es gelten die Bestimmungen für Nägel sinngemäß)

Durchmesser \varnothing [mm]	Mindesteinschraubtiefe 2),3) t_{req} [mm]	Mindestholzdicke 4) t_{req} [mm]	nicht vorgebohrt		vorgebohrt	
			Mindestholzdicke Spaltgefahr ⁵⁾		charakteristische Tragfähigkeit R_k [N]	charakteristische Tragfähigkeit R_k [N]
			$a_{2,t(c)} < 10d$ t_{req} [mm]	$a_{2,t(c)} \geq 10d$ oder Kiefernholz t_{req} [mm]		
4,0	36	36	56	28	578	697
5,0	45	45	70	35	835	1036
6,0	54	54	84	42	1128	1431
8,0	72	72	130	65	1814	2377

Schrauben $d > 8 \text{ mm}$ (es gelten die Bestimmungen für Stabdübel sinngemäß)

Winkel [°]	Mindestholzdicke ^{1),4)}				Mindestholzdicke ^{1),4)}			
	Seitenholz $t_{1,req}$ [mm]	Seitenholz $t_{2,req}$ [mm]	Mittelholz $t_{2,req}$ [mm]	R_k [N]	Seitenholz $t_{1,req}$ [mm]	Seitenholz $t_{2,req}$ [mm]	Mittelholz $t_{2,req}$ [mm]	R_k [N]
	d = 10 mm				d = 12 mm			
0	38 ⁶⁾	38 ⁶⁾	32 ⁶⁾	3513	44 ⁶⁾	44 ⁶⁾	37 ⁶⁾	4823
15	39 ⁶⁾	38 ⁶⁾	31 ⁶⁾	3484	45 ⁶⁾	44 ⁶⁾	36 ⁶⁾	4781
30	41 ⁶⁾	37 ⁶⁾	30 ⁶⁾	3408	48 ⁶⁾	44 ⁶⁾	35 ⁶⁾	4671
45	43 ⁶⁾	37 ⁶⁾	29 ⁶⁾	3312	51	43 ⁶⁾	34 ⁶⁾	4532
60	46 ⁶⁾	36 ⁶⁾	29 ⁶⁾	3224	54	43 ⁶⁾	33 ⁶⁾	4405
75	47 ⁶⁾	36 ⁶⁾	28 ⁶⁾	3163	56	42 ⁶⁾	33 ⁶⁾	4318
90	48 ⁶⁾	36 ⁶⁾	28 ⁶⁾	3142	57	42 ⁶⁾	33 ⁶⁾	4288
	d = 16 mm				d = 20 mm			
0	57	57	47 ⁶⁾	7908	70	70	58	11533
15	58	57	47 ⁶⁾	7831	72	69	57	11409
30	62	56	46 ⁶⁾	7632	76	69	56	11091
45	66	55	44 ⁶⁾	7383	83	68	54	10696
60	71	55	43 ⁶⁾	7156	88	67	52	10341
75	74	54	42 ⁶⁾	7003	92	66	51	10102
90	75	54	41 ⁶⁾	6950	94	66	50	10019

Werte t_{req} und R_k sind stets gerundet.

1) Für abweichende Festigkeitsklassen ($\rho_k > 350 \text{ kg/m}^3$) sowie Stahlsorten ($f_{u,k} \neq 400 \text{ N/mm}^2$) muss R_k mit

$$\sqrt{\frac{\rho_k}{350} \times \frac{f_{u,k}}{400}} \text{ und } t_{req} \text{ mit } \sqrt{\frac{350}{\rho_k} \times \frac{400}{f_{u,k}}} \text{ multipliziert werden.}$$

2) Scherfugen mit Einschraubtiefen $< 4d$ dürfen nicht in Rechnung gestellt werden.

3) Bei Scherfugen mit Einschraubtiefen von $4d \leq t < 9d$ ist R_k im Verhältnis t/t_{req} abzumindern.

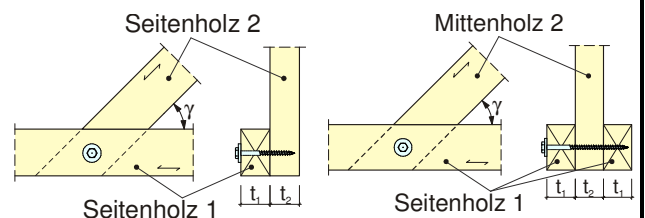
4) Bei Holzicken $t < t_{req}$ ist R_k im Verhältnis t/t_{req} abzumindern.

5) Bei nicht vorgebohrten Schrauben ist die geforderte Mindestholzdicke wegen der größeren Spaltgefahr für das Holz unbedingt einzuhalten. Um die geforderten Dicken zu unterschreiten muss entweder Kiefernholz verwendet werden oder es sind größere Abstände senkrecht zur Faser zum beanspruchten bzw. unbeanspruchten Rand einzuhalten ($\geq 10d$).

6) Mindestholzdicke Brettschichtholz $t_{req} = 50 \text{ mm}$ entsprechend Abschnitt 7.3.3 (1) DIN 1052 bzw. Abschnitt 1 DIN EN 390.

Einschnittige Verbindung

Zweischchnittige Verbindung



Bemessungswert: $R_d = R_k \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($\gamma_{M, \text{Stahl}} = 1,1$)

Charakteristische Stabdübel- und Passbolzentragfähigkeit pro Scherfuge (vereinfachter Nachweis)

4-4

Nadelholz C24, Brettschichtholz GL24c (Rohdichte $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$)¹⁾, Stabdübel S 235 (Stahlzugfestigkeit $f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$)¹⁾

Winkel [°]	Mindestholzdicke				Mindestholzdicke			
	Seitenholz $t_{1,req}$ [mm]	Seitenholz $t_{2,req}$ [mm]	Mittelholz $t_{2,req}$ [mm]	R_k [N]	Seitenholz $t_{1,req}$ [mm]	Seitenholz $t_{2,req}$ [mm]	Mittelholz $t_{2,req}$ [mm]	R_k [N]
	d = 6 mm				d = 8 mm			
	33	33	27	1920	42	42	35	3189
	d = 10 mm				d = 12 mm			
0	51	51	42 ³⁾	4713	59	59	49 ³⁾	6470
15	52	50	42 ³⁾	4674	61	59	49 ³⁾	6414
30	54	50	41 ³⁾	4572	64	58	48 ³⁾	6266
45	58	49 ³⁾	40 ³⁾	4443	68	58	46 ³⁾	6080
60	61	49 ³⁾	39 ³⁾	4325	72	57	45 ³⁾	5910
75	64	49 ³⁾	38 ³⁾	4244	75	57	44 ³⁾	5794
90	64	48 ³⁾	38 ³⁾	4215	76	57	44 ³⁾	5753
	d = 16 mm				d = 20 mm			
0	76	76	63	10610	94	94	78	15473
15	78	76	63	10507	96	93	77	15307
30	83	75	61	10239	102	92	75	14880
45	89	74	59	9905	111	91	72	14351
60	95	73	57	9601	119	90	69	13874
75	99	73	56	9396	124	89	68	13554
90	101	73	56	9324	126	88	67	13442
	d = 24 mm				d = 30 mm			
0	111	111	92	20939	138	138	115	30029
15	114	111	91	20694	143	138	113	29634
30	123	109	88	20067	154	136	109	28631
45	133	107	85	19296	169	133	105	27412
60	143	106	82	18608	183	131	101	26337
75	150	105	80	18148	192	130	98	25625
90	153	105	79	17988	196	129	97	25379

Nadelholz C30, Brettschichtholz GL 24h u. GL 30c, Stabdübel S 235: Multiplikation der vorstehenden R_k -Werte mit 1,042

Umrechnungsfaktoren für abweichende Stahlgüten				S 274	1,093	S 355	1,190
S 3.6	0,913	S 4.6	1,054	S 5.6	1,179	S 8.8	1,491

Werte t_{req} und R_k sind stets gerundet.

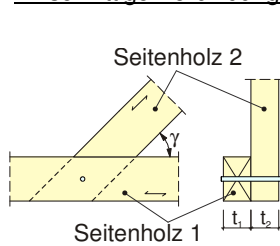
1) Für abweichende Festigkeitsklassen ($\rho_k > 350 \text{ kg/m}^3$) sowie Stahlsorten ($f_{u,k} > 360 \text{ N/mm}^2$) muss R_k mit

$$\sqrt{\frac{\rho_k}{350} \times \frac{f_{u,k}}{360}} \text{ und } t_{req} \text{ mit } \sqrt{\frac{350}{\rho_k} \times \frac{360}{f_{u,k}}} \text{ multipliziert werden.}$$

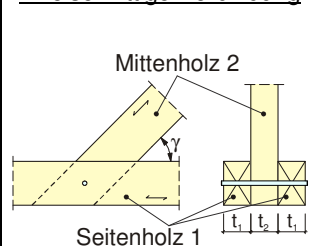
2) Bei Holzstärken $t < t_{req}$ ist R_k im Verhältnis t/t_{req} abzumindern.

3) Mindestholzdicke Brettschichtholz $t_{req} = 50 \text{ mm}$ entsprechend Abschnitt 7.3.3 (1) DIN 1052 bzw. Abschnitt 1 DIN EN 390.

Einschnittige Verbindung



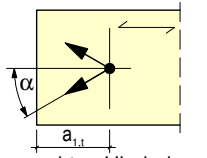
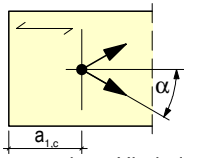
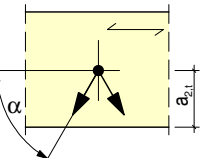
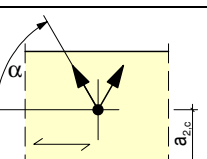
Zweischchnittige Verbindung



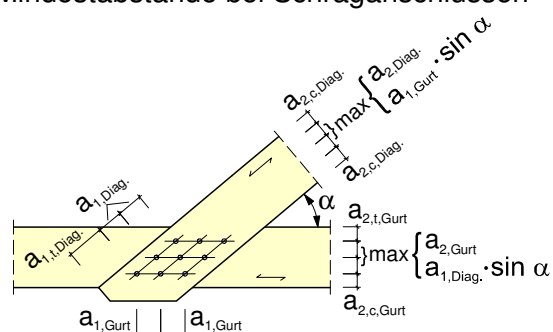
Bemessungswert: $R_d = R_k \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($\gamma_{M, \text{Stahl}} = 1,1$)

Mindestabstände von stiftförmigen Verbindungsmitteln

4-5

		Stabdübel und Passbolzen	Bolzen und Gewindestangen	Nägel und Schrauben		Klammern
				nicht vorgebohrt $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$ ¹⁾	vorgebohrt	
a ₁	in Faserrichtung	$(3+2 \times \cos\alpha) \times d$	$(3+2 \times \cos\alpha) \times d$ mind. 4×d	d<5mm $(5+5 \times \cos\alpha) \times d$ d≥5mm $(5+7 \times \cos\alpha) \times d$	$(3+2 \times \cos\alpha) \times d$	$\beta \geq 30^\circ$ $(10+5 \times \cos\alpha) \times d$ $\beta < 30^\circ$ $(15+5 \times \cos\alpha) \times d$
	rechwinklig zur Faserrichtung			3×d		4×d
a _{1,t}	 beanspruchtes Hirnholzende	7×d mind. 80 mm	7×d mind. 80 mm	d<5mm $(7+5 \times \cos\alpha) \times d$ d≥5mm $(10+5 \times \cos\alpha) \times d$	$(7+5 \times \cos\alpha) \times d$	$(15+5 \times \cos\alpha) \times d$
a _{1,c}	 unbeanspruchtes Hirnholzende	7×d×sinα mind. 3×d	7×d×sinα mind. 4×d	d<5mm 7×d d≥5mm 10×d	7×d	15×d
a _{2,t}	 beanspruchter Rand	3×d	3×d	d<5mm $(5+2 \times \sin\alpha) \times d$ d≥5mm $(5+5 \times \sin\alpha) \times d$	$(3+4 \times \sin\alpha) \times d$	$(10+5 \times \sin\alpha) \times d$
a _{2,c}	 unbeanspruchter Rand	3×d	3×d	5×d	3×d	$(5+5 \times \sin\beta) \times d$

Mindestabstände bei Schräganschlüssen



α = Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung

β = Winkel zwischen Klammerrücken und Faserrichtung

Die tabellierten Abstände gelten für Nadelholz der Festigkeitsklassen C14 bis C40 sowie Brettschichtholz GL 24 bis GL 32c (nicht 32h).

Für Nadelholz der Festigkeitsklasse C50 sowie Brettschichtholz der Festigkeitsklassen GL 32h, GL36h und GL 36c gelten abweichende Verbindungsmittelabstände.

Nägel und Klammern in Holzwerkstoffplatten

Als Mindestnagel- und -klammerabstände a_1 und a_2 in Sperrholz-Holz-Verbindungen dürfen die 0,85-fachen Werte angesetzt werden.

Für Gipskarton-Holz-Verbindungen ist ein Mindestnagel- und -klammerabstand von $a_1 = 20d$ einzuhalten.

Die Mindestrandabstände in Sperrholz, OSB-Platten, kunstharzgebundenen Spanplatten und Faserplatten der technischen Klasse HB.HLA2 betragen $3d$ und für Gipskartonplatten $7d$ für den unbeanspruchten Rand, soweit nicht die Nagelabstände im Holz maßgebend werden. Vom beanspruchten Plattenrand dürfen die Abstände der Nägel $4d$ bei Sperrholz sowie $7d$ bei OSB-Platten, kunstharzgebundenen Spanplatten und Faserplatten und $10d$ bei Gipskartonplatten nicht unterschreiten.

Effektiv wirksame Verbindungsmittelanzahl n_{ef}

4-6

Nägel $d > 6$ mm, Schrauben $d > 8$ mm, Stabdübel, Passbolzen

Anzahl	Verbindungsmittelabstand a_1 (Kraft in Faserrichtung)																		
	5d	6d	7d	8d	9d	10d	11d	12d	13d	14d	15d	16d	17d	18d	19d	20d			
2	1,57	1,64	1,71	1,76	1,82	1,87	1,91	1,95	1,99	2,00									
3	2,26	2,37	2,46	2,54	2,62	2,69	2,75	2,81	2,87	2,92	2,97	3,00							
4	2,93	3,06	3,19	3,29	3,39	3,48	3,57	3,64	3,72	3,79	3,85	3,92	3,98	4,00					
5	3,58	3,75	3,89	4,03	4,15	4,26	4,36	4,46	4,55	4,63	4,71	4,79	4,86	4,93	5,00				
6	4,22	4,41	4,59	4,74	4,89	5,02	5,14	5,25	5,36	5,46	5,55	5,64	5,73	5,81	5,89	5,96			
7	4,85	5,07	5,27	5,45	5,61	5,76	5,90	6,03	6,15	6,27	6,38	6,48	6,58	6,67	6,77	6,85			
8	5,46	5,72	5,94	6,15	6,33	6,50	6,65	6,80	6,94	7,07	7,19	7,31	7,42	7,53	7,63	7,73			
9	6,08	6,36	6,61	6,83	7,04	7,22	7,40	7,56	7,71	7,86	8,00	8,13	8,25	8,37	8,48	8,59			
10	6,68	6,99	7,27	7,51	7,74	7,94	8,13	8,31	8,48	8,64	8,79	8,93	9,07	9,20	9,33	9,45			

Umrechnungsfaktoren bei Kraft \neq Faserrichtung

Anzahl	Winkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
2	$\times 0,83 + 0,33$	$\times 0,67 + 0,67$	$\times 0,50 + 1,00$	$\times 0,33 + 1,33$	$\times 0,17 + 1,67$	$\times 0 + 2$
3	$\times 0,83 + 0,50$	$\times 0,67 + 1,00$	$\times 0,50 + 1,50$	$\times 0,33 + 2,00$	$\times 0,17 + 2,50$	$\times 0 + 3$
4	$\times 0,83 + 0,67$	$\times 0,67 + 1,33$	$\times 0,50 + 2,00$	$\times 0,33 + 2,67$	$\times 0,17 + 3,33$	$\times 0 + 4$
5	$\times 0,83 + 0,83$	$\times 0,67 + 1,67$	$\times 0,50 + 2,50$	$\times 0,33 + 3,33$	$\times 0,17 + 4,17$	$\times 0 + 5$
6	$\times 0,83 + 1,00$	$\times 0,67 + 2,00$	$\times 0,50 + 3,00$	$\times 0,33 + 4,00$	$\times 0,17 + 5,00$	$\times 0 + 6$
7	$\times 0,83 + 1,17$	$\times 0,67 + 2,33$	$\times 0,50 + 3,50$	$\times 0,33 + 4,67$	$\times 0,17 + 5,83$	$\times 0 + 7$
8	$\times 0,83 + 1,33$	$\times 0,67 + 2,67$	$\times 0,50 + 4,00$	$\times 0,33 + 5,33$	$\times 0,17 + 6,67$	$\times 0 + 8$
9	$\times 0,83 + 1,50$	$\times 0,67 + 3,00$	$\times 0,50 + 4,50$	$\times 0,33 + 6,00$	$\times 0,17 + 7,50$	$\times 0 + 9$
10	$\times 0,83 + 1,67$	$\times 0,67 + 3,33$	$\times 0,50 + 5,00$	$\times 0,33 + 6,67$	$\times 0,17 + 8,33$	$\times 0 + 10$

Wegen der Spaltgefahr des Holzes ist für mehrere in Faserrichtung hintereinander angeordnete stiftförmige Verbindungsmittel eine wirksame Anzahl n_{ef} zu bestimmen.

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{\text{vorh. } a_1}{10d}} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \end{array} \right.$$

$n = n_{ef}$ bei Nägeln $d \leq 6$ mm, Schrauben $d \leq 8$ mm und Klammern

n Anzahl der in Faserrichtung hintereinander liegenden Verbindungsmittel
 a_1 Mindestverbindungsmittelabstand untereinander in Faserrichtung
 d Verbindungsmitteldurchmesser
 α Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung

Dübel besonderer Bauart

Winkel	Dübelanzahl									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1	2	2,85	3,6	4,25	4,8	5,25	5,6	5,85	6
15	1	2	2,88	3,67	4,38	5,00	5,54	6,00	6,38	6,67
30	1	2	2,90	3,73	4,50	5,20	5,83	6,40	6,90	7,33
45	1	2	2,93	3,80	4,63	5,40	6,13	6,80	7,43	8,00
60	1	2	2,95	3,87	4,75	5,60	6,42	7,20	7,95	8,67
75	1	2	2,98	3,93	4,88	5,80	6,71	7,60	8,48	9,33
90	1	2	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00

Für mehrere in Faserrichtung hintereinander angeordnete Dübel besonderer Bauart ist eine wirksame Anzahl n_{ef} zu bestimmen. Mehr als zehn Dübel hintereinander dürfen nicht in Rechnung gestellt werden.

$$n_{ef} = \left[2 + \left(1 - \frac{n}{20} \right) \cdot (n - 2) \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90}$$

n Anzahl der in Faserrichtung hintereinander liegenden Verbindungsmittel

Charakteristische Zugtragfähigkeit von Bolzenverbindungen (senkrecht zur Faserrichtung) 4-7

Bolzen	Scheibe			A_{ef} [mm ²]	$R_{ax,k}$ [N]									
	d_A [mm]	d_i [mm]	s [mm]		C24		C30		GL24		GL28		GL32	
					c	h	c	h	c	h	c	h	c	h
M12	58	14	6	5968	14920	16114	14323	16114	17904	19694				
M16	68	18	6	7457	18643	20134	17897	20134	22371	24608				
M20	80	22	8	9446	23615	25504	22670	25504	28338	31172				
M22	92	25	8	11677	29193	31528	28025	31528	35031	38534				
M24	105	27	8	14386	35965	38842	34526	38842	43158	47474				

d_A, d_i Außen-/ Innendurchmesser Scheibe [mm]
 s Scheibendicke [mm]
 A_{ef} Wirksame Querschnittsfläche

$R_{ax,k} = A_{ef} \times k_{c,90} \times f_{c,90,k}$
 Annahme: $k_{c,90} = 1,0$

A_{ef} :



Bemessungswert: $R_{ax,d} = R_{ax,k} \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($\gamma_{M, Holz} = 1,3$)

Charakteristische Zugtragfähigkeit von Verbindungsmitteln (senkrecht zur Faserrichtung) 4-8

Nägel und Klammern

$R_{ax,k} = \min \begin{cases} f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef} \\ f_{2,k} \cdot d_k^2 \end{cases}$		$f_{1,k}$ = Ausziehparameter d = Nenndurchmesser l_{ef} = wirksame Verankerungslänge ρ_k = char. Rohdichte des Holzes	$f_{2,k}$ = Kopfdurchziehparameter d_k = Kopfdurchmesser (bei Nägeln: $d_k = 2d$)	
Nageltyp ¹⁾	Einschlagtiefe	Ausziehparameter $f_{1,k}$	Nageltyp	Kopfdurchziehparameter $f_{2,k}$
Glattschaftige Nägel ²⁾³⁾	$12d \leq l_{ef} \leq 20d$	$18 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	Glattschaftige Nägel	$60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$ ⁵⁾
SoNä Tragfähigkeitsklasse 1 ²⁾³⁾	$\geq 12d$ ⁴⁾	$30 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	SoNä Tragfähigkeitsklasse A	$60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$ ⁵⁾
SoNä Tragfähigkeitsklasse 2	$\geq 8d$ ⁴⁾	$40 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	SoNä Tragfähigkeitsklasse B	$80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$ ⁵⁾
SoNä Tragfähigkeitsklasse 3	$\geq 8d$ ⁴⁾	$50 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	SoNä Tragfähigkeitsklasse C	$100 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$ ⁵⁾

- 1) Vorgebohrte glattschaftige Nägel dürfen nicht auf Herausziehen beansprucht werden, Sondernägel nur, wenn der Bohrdurchmesser \leq des Kerndurchmessers ist. Der Ausziehparameter $f_{1,k}$ darf in solchen Fällen nur mit 70% angesetzt werden.
- 2) Nur für kurze Lasteinwirkungen zulässig.
- 3) Glattschaftige Nägel und Sondernägel der Tragfähigkeitsklasse 1 dürfen im Anschluss von Koppelpfetten dauernd auf Herausziehen beansprucht werden, wenn die Dachneigung $\leq 30^\circ$ beträgt. Der Ausziehparameter $f_{1,k}$ darf in solchen Fällen nur mit 60% angesetzt werden.
- 4) Maximal die Länge des profilierten Schaftteils ansetzen
- 5) Beim Anschluss von Brettsperrholz, Sperrholz, OSB-Platten, kunstharzgebundenen Spanplatten oder zementgebundenen Spanplatten dürfen die charakteristischen Werte des Kopfdurchziehparameters $f_{2,k}$ nur dann in Rechnung gestellt werden, wenn diese Platten mindestens 20 mm dick sind. Die charakteristische Rohdichte ρ_k ist dabei mit 380 kg/m^3 in Rechnung zu stellen. Für Platten mit einer Dicke zwischen 12 und 20 mm darf in allen Fällen nur mit $f_{2,k} = 8 \text{ N/mm}^2$ gerechnet werden. Bei geringeren Plattendicken als 12 mm darf mit $R_{ax,k} = 400 \text{ N}$ gerechnet werden.

Holzschrauben

Auszieh- und Kopfdurchziehwiderstand

$R_{ax,k} = \min \begin{cases} f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef} \\ f_{2,k} \cdot d_k^2 \end{cases}$	$R_{ax,k} = \min \begin{cases} \frac{f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \cdot \cos^2 \alpha} \\ f_{2,k} \cdot d_k^2 \end{cases}$	$f_{1,k}$ = Ausziehparameter d = Nenndurchmesser l_{ef} = wirksame Verankerungslänge	$f_{2,k}$ = Kopfdurchziehparameter d_k = Kopfdurchmesser ρ_k = charakteristische Rohdichte
Tragfähigkeitsklasse	Ausziehparameter $f_{1,k}$ ⁶⁾	Tragfähigkeitsklasse	Kopfdurchziehparameter $f_{2,k}$ ⁶⁾
1	$60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	A	$60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
2	$70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	B	$80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
3	$80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	C	$100 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$

6) Charakteristische Rohdichte ρ_k in kg/m^3 , jedoch höchstens 500 kg/m^3

Holzschraubentragfähigkeit

$R_{ax,k} = 300 \cdot \pi \cdot \frac{d_{Kern}^2}{4} = 75 \cdot \pi \cdot d_{Kern}^2$ $R_{ax,d} = \frac{R_{ax,k}}{1,25}$	d_{Kern} = Kerndurchmesser der Schraube [mm]
--	--

Bemessungswert: $R_{ax,d} = R_{ax,k} \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($\gamma_{M, Holz} = 1,3$)

Charakteristische Tragfähigkeit kombiniert beanspruchter Verbindungsmittel 4-9

Nägel, Klammern, Holzschrauben, eingeklebte Stahlstäbe

$\left(\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} \right)^m + \left(\frac{F_{la,d}}{R_{la,d}} \right)^m \leq 1$		$F_{ax,d}$ = Bemessungswert der Einwirkung auf Herausziehen $R_{ax,d}$ = Bemessungswert der Tragfähigkeit auf Herausziehen $F_{la,d}$ = Bemessungswert der Einwirkung auf Abscheren $R_{la,d}$ = Bemessungswert der Tragfähigkeit auf Abscheren m = Potenzexponent
Potenzexponent m		
Glattschaftige Nägel	Sondernägel Tragfähigkeitsklasse 1, Klammern	Sondernägel Tragfähigkeitsklassen 2 und 3, Holzschrauben, eingeklebte Stahlstäbe
allgemein	in Koppelpfettenanschlüssen	
1	1,5	1
		2

Charakteristische Ring- und Scheibendübeltragfähigkeit, Typ A1 und B1 (Appel)												5-1
Nadelholz C24, Brettschichtholz GL24c (Rohdichte $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$) ¹⁾												
Winkel	Einlass-tiefe h_e	Fehl-fläche ΔA	Bolzen \varnothing min/max	Mindestholzdicke		Mindestdübelabstände						$R_{c,k}$ ⁴⁾
				Seiten-holz t_1 ²⁾	Mittel-holz t_2 ³⁾	a_1	a_2	$a_{1,t}$	$a_{1,c}$	$a_{2,t}$	$a_{2,c}$	
[°]	[mm]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]
Durchmesser 65 mm (d_c), A1 sowie B1												
0	15	980	12/24 (B1:12)	45	75	130	78	130	78	39	39	18342
30						123			78	46		16808
60						104			116	50		14400
90						78			130	52		13437
Durchmesser 80 mm (d_c), A1 sowie B1												
0	15	1200	12/24 (B1:12)	45	75	160	96	160	96	48	48	25044
30						151			96	56		22871
60						128			143	62		19489
90						96			160	64		18148
Durchmesser 95 mm (d_c), A1 sowie B1												
0	15	1430	12/24 (B1:12)	45	75	190	114	190	114	57	57	32408
30						180			114	67		29495
60						152			170	73		25001
90						114			190	76		23232
Durchmesser 126 mm (d_c), A1												
0	15	1890	12/24	45	75	252	151	252	151	76	76	49502
30						238			151	88		44737
60						202			225	97		37516
90						151			252	101		34714
Durchmesser 128 mm (d_c), A1 sowie B1												
0	22,5	2880	12/24 (B1:12)	67,5	112,5	256	154	256	154	77	77	50685
30						242			154	90		45786
60						205			229	99		38369
90						154			256	102		35494
Durchmesser 160 mm (d_c), A1 sowie B1												
0	22,5	3600	16/24 (B1:16)	67,5	112,5	320	192	320	192	96	96	70835
30						303			192	112		63529
60						256			286	124		52665
90						192			320	128		48517
Durchmesser 190 mm (d_c), A1 sowie B1												
0	22,5	4280	16/24 (B1:16)	67,5	112,5	380	228	380	228	114	114	91664
30						360			228	133		81661
60						304			339	147		67030
90						228			380	152		61519
<p>Werte R_k sind stets gerundet.</p> <p>1) Für abweichende Festigkeitsklassen bzw. Rohdichten ($\rho_k \neq 350 \text{ kg/m}^3$) muss R_k mit $\rho_k/350$ multipliziert werden. Dabei darf eine maximale Rohdichte von $612,5 \text{ kg/m}^3$ angesetzt werden.</p> <p>2) Wird die Seitenholzdicke unterschritten, muss im Bereich von $2,25 h_e \leq t_1 \leq 3 h_e$ die Tragfähigkeit im Verhältnis $t_1/3h_e$ verringert werden; eine geringere Seitenholzdicke als $2,25 h_e$ ist nicht zulässig.</p> <p>3) Wird die Mittelholzdicke unterschritten, muss im Bereich von $3,75 h_e \leq t_2 \leq 5 h_e$ die Tragfähigkeit im Verhältnis $t_2/5h_e$ verringert werden; eine geringere Mittelholzdicke als $3,75 h_e$ ist nicht zulässig.</p> <p>4) Einsatz in Nutzungsklasse 3 nicht zulässig.</p>												
Bemessungswert: $R_{c,d} = R_{c,k} \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($\gamma_{M, \text{Holz}} = 1,3$)												

Charakteristische Scheibendübeltragfähigkeit, Typ C (Bulldog, Geka)

5-2

Nadelholz C24, Brettschichtholz GL24c (Rohdichte $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$)¹⁾, Bolzen 3.6 ($f_{u,k} = 300 \text{ N/mm}^2$)

Dübel $\varnothing d_c$ [mm]	Einpress- tiefe h_e [mm]	Fehl- fläche ΔA [mm ²]	Bolzen \varnothing [mm]	Mindestholzdicke				Mindestdübelabstände bei $\alpha = 0$						Dübel $R_{c,k}$ [N]	Bolzen $R_{b,0,k}$ [N]
				Seitenholz		Mittelholz		a_1	a_2	$a_{1,t}$	$a_{1,c}$	$a_{2,t}$	$a_{2,c}$		
				Dübel t_1	Bolzen $t_{1,req}$	Dübel t_2	Bolzen $t_{2,req}$								
Typ C1 (Bulldog)															
50	6,0	170	12	24	54	30	45	75	60	75	60	30	30	6364	5907
62	7,4	300		24		37		93	74	93	74	37	37	8787	
75	9,1	420	16	27	70	46	58	113	90	113	90	45	45	11691	9686
95	11,3	670		34		57		143	114	143	114	57	57	16667	
117	14,3	1000	20	43	85	72	71	176	140	176	140	70	70	22780	14125
140	14,7	1240	24	44	101	74	84	210	168	210	168	84	84	29817	19115
165	15,6	1490		47		78		248	198	248	198	99	99	38150	
Typ C2 (Bulldog)															
50	5,6	170	12	24	54	28	45	75	60	75	60	30	30	6364	5907
62	7,5	300		24		38		93	74	93	74	37	37	8787	
75	9,2	420	16	28	70	46	58	113	90	113	90	45	45	11691	9686
95	11,4	670		34		57		143	114	143	114	57	57	16667	
117	14,5	1000	20	44	85	73	71	176	140	176	140	70	70	22780	14125
Typ C3 und C4															
73x130	13,25	1110	20	40	85	66	71	146	117	146	117	58	58	17307	14125
Typ C5															
100	7,3	430	20	24	85	37	71	150	120	150	120	60	60	18000	14125
130	9,25	690	24	28	101	46	84	195	156	195	156	78	78	26680	19115
Typ C10 (Geka)															
50	12	460	12	36	54	60	45	100	60	100	60	30	30	8839	5907
65		590	16		70		58	130	78	130	78	39	39	13101	9686
80		750	20		85		71	160	96	160	96	48	48	17889	14125
95		900	24		101		84	190	114	190	114	57	57	23149	19115
115		1040						230	138	230	138	69	69	30831	
Typ C11 (Geka)															
50	12	540	12	36	54	60	45	100	60	100	60	30	30	8839	5907
65		710	16		70		58	130	78	130	78	39	39	13101	9686
80		870	20		85		71	160	96	160	96	48	48	17889	14125
95		1070	24		101		84	190	114	190	114	57	57	23149	19115
115		1240						230	138	230	138	69	69	30831	

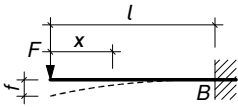
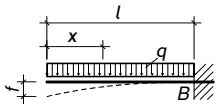
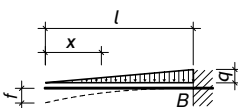
Werte R_k sind stets gerundet.

- 1) Für abweichende Festigkeitsklassen bzw. Rohdichten ($\rho_k \neq 350 \text{ kg/m}^3$) muss R_k mit $\rho_k/350$ multipliziert werden. Dabei darf eine maximale Rohdichte von $612,5 \text{ kg/m}^3$ angesetzt werden.
- 2) Wird die Seitenholzdicke unterschritten, muss im Bereich von $2,25 h_e \leq t_1 \leq 3 h_e$ die Tragfähigkeit im Verhältnis $t_1/3h_e$ verringert werden; eine geringere Seitenholzdicke als $2,25 h_e$ ist nicht zulässig.
- 3) Wird die Mittelholzdicke unterschritten, muss im Bereich von $3,75 h_e \leq t_2 \leq 5 h_e$ die Tragfähigkeit im Verhältnis $t_2/5h_e$ verringert werden; eine geringere Seitenholzdicke als $3,75 h_e$ ist nicht zulässig.

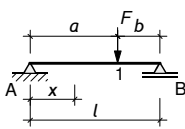
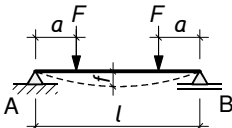
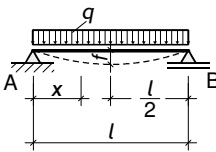
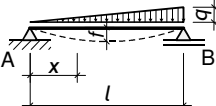
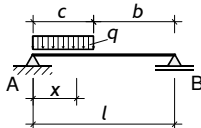
Bemessungswerte: Dübel: $R_{c,d} = R_{c,k} \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($\gamma_{M, \text{Holz}} = 1,3$), Bolzen $R_{d} = R_k \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($\gamma_{M, \text{Stahl}} = 1,1$)

Stirnversatz (S)		Fersenversatz (F)		Doppelter Versatz (D)							
Tragfähigkeit											
$R_{S,d} = b \cdot t_v \cdot f_{c,0,d} \cdot k_S$		$R_{F,d} = b \cdot t_v \cdot f_{c,0,d} \cdot k_F$		$R_{D,d} = R_{S,d} + R_{F,d}$							
Vorholzlänge l_v											
$l_v \geq \frac{S_d \cdot \cos \gamma}{b \cdot f_{v,d}}$ $20 \text{ cm} \leq l_v \leq 8 t_v$		$l_v \geq \frac{S_d \cdot \cos \gamma}{b \cdot f_{v,d}}$ $20 \text{ cm} \leq l_v \leq 8 t_v$		$l_{v,1} \geq \frac{S_{1,d} \cdot \cos \gamma}{b \cdot f_{v,d}}$ $l_v \geq \frac{S_d \cdot \cos \gamma}{b \cdot f_{v,d}}$ $20 \text{ cm} \leq l_v \leq 8 t_v$							
Max. Einschnitttiefe t_v			Lagesicherung								
$\gamma \leq 50^\circ$	$t_v \leq \frac{h}{4}$										
$50^\circ < \gamma \leq 60^\circ$	$t_v \leq \frac{h}{4} \cdot \left(1 - \frac{\gamma - 50}{30}\right)$										
$\gamma > 60^\circ$	$t_v \leq \frac{h}{6}$										
Doppelter Versatz: $t_{v1} \leq 0,8 t_{v2}$ $t_{v1} \leq t_{v2} - 1,0 \text{ cm}$											
Beiwerte für Nadelholz C24											
γ	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	
k_S	0,926	0,882	0,836	0,793	0,754	0,720	0,692	0,670	0,654	0,643	
k_F	0,766	0,677	0,607	0,557	0,522	0,502	0,495	0,501	0,522	0,563	
$k_S = \frac{1}{\cos^2\left(\frac{\gamma}{2}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{c,90,d}} \sin^2\left(\frac{\gamma}{2}\right)\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot 1,4 \cdot f_{v,d}} \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)\right)^2} + \cos^4\left(\frac{\gamma}{2}\right)}$						$k_F = \frac{1}{\cos \gamma \sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{c,90,d}} \sin^2 \gamma\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot 1,4 \cdot f_{v,d}} \sin \gamma \cdot \cos \gamma\right)^2} + \cos^4 \gamma}$					

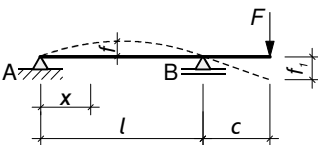
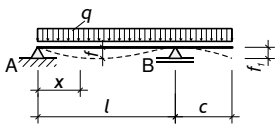
Kragträger

Belastungsfall	Auflagerkräfte	Biegemoment	Durchbiegung
	$B = F$	$M_B = -F \cdot l$ $M_{(x)} = -F \cdot x$	$f = \frac{1}{3} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{ M_B \cdot l^2}{E \cdot I}$
	$B = q \cdot l$	$M_B = -\frac{q \cdot l^2}{2}$ $M_{(x)} = -\frac{q \cdot x^2}{2}$	$f = \frac{1}{8} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} = \frac{1}{4} \cdot \frac{ M_B \cdot l^2}{E \cdot I}$
	$B = \frac{q \cdot l}{2}$	$M_B = -\frac{q \cdot l^2}{6}$ $M_{(x)} = -\frac{q \cdot x^3}{6 \cdot l}$	$f = \frac{1}{30} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} = \frac{1}{5} \cdot \frac{ M_B \cdot l^2}{E \cdot I}$

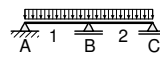



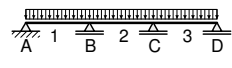
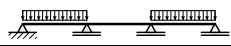
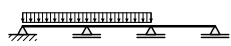
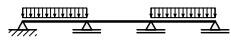
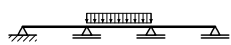
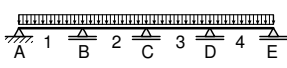

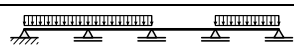
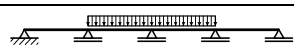
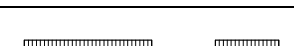
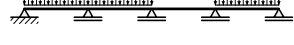
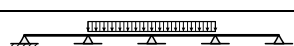
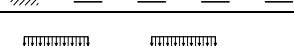
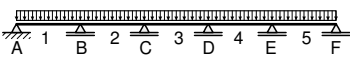
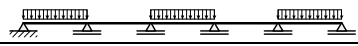
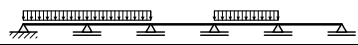
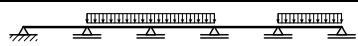
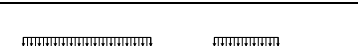
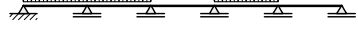
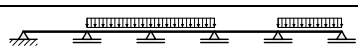
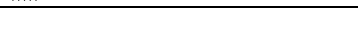
Einfeldträger

Belastungsfall	Auflagerkräfte	Biegemoment	Durchbiegung
	$A = \frac{F \cdot b}{l}$ $B = \frac{F \cdot a}{l}$	$\max. M = \frac{F \cdot a \cdot b}{l}$ $M_{(x)} = A \cdot x$ (für $0 \leq x \leq a$) $M_{(x)} = B \cdot (l - x)$ (für $a \leq x \leq l$)	$f = \frac{1}{3} \cdot \frac{F}{E \cdot I} \cdot \frac{a^2 \cdot b^2}{l}$
$a = b = \frac{l}{2}$	$A = B = \frac{F}{2}$	$\max. M = \frac{F \cdot l}{4}$; $M_{(x)} = \frac{F}{2} \cdot x$	$f = \frac{1}{48} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I} = \frac{1}{12} \cdot \frac{\max. M \cdot l^2}{E \cdot I}$
	$A = B = F$	$\max. M = F \cdot a$	$f = \frac{F \cdot a}{24 \cdot E \cdot I} \cdot (3 \cdot l^2 - 4 \cdot a^2)$
	$A = B = \frac{q \cdot l}{2}$	$\max. M = \frac{q \cdot l^2}{8}$ $M_{(x)} = \frac{q \cdot x}{2} \cdot (l - x)$	$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} = \frac{1}{9,6} \cdot \frac{\max. M \cdot l^2}{E \cdot I}$
	$A = \frac{1}{6} \cdot q \cdot l$ $B = \frac{1}{3} \cdot q \cdot l$	$\max. M = \frac{q \cdot l^2}{15,6}$ (bei $x = 0,577 \cdot l$) $M_{(x)} = \frac{q \cdot l \cdot x}{6} \cdot (1 - \frac{x^2}{l^2})$	$f = 0,00652 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I}$ (bei $x = 0,5193 \cdot l$)
	$A = \frac{q \cdot c}{2 \cdot l} \cdot (2 \cdot l - c)$ $B = \frac{q \cdot c^2}{2 \cdot l}$	$\max. M = \frac{q \cdot c^2}{8 \cdot l^2} (2 \cdot l - c)^2$ (bei $x = \frac{A}{q}$) $x \leq c: M_{(x)} = A \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2}$	$f = \frac{q \cdot b \cdot c^3}{24 \cdot E \cdot I} \cdot (4 - 3 \cdot \frac{c}{l})$ (bei $x = c$)
$c = \frac{l}{2}$	$A = \frac{3}{8} \cdot q \cdot l$; $B = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l$	$\max. M = \frac{9}{128} \cdot q \cdot l^2$	$f = \frac{5}{768} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I}$ (bei $x = \frac{l}{2}$)

Einfeldträger mit Kragarm

Belastungsfall	Auflagerkräfte	Biegemoment	Durchbiegung
	$A = -\frac{F \cdot c}{l}$ $B = -\frac{F \cdot (l + c)}{l}$	$M_B = -F \cdot c$ $x \leq l: M_{(x)} = A \cdot x = -\frac{F \cdot c \cdot x}{l}$	$f = \frac{F \cdot l^2}{9 \cdot E \cdot I} \cdot \frac{c}{\sqrt{3}}$ (bei $x = 0,577l$) $f_1 = \frac{F \cdot c^2}{3 \cdot E \cdot I} \cdot (l + c)$
	$A = \frac{q}{2 \cdot l} \cdot (l^2 - c^2)$ $B = \frac{q}{2 \cdot l} \cdot (l + c)^2$	$\max. M_F = \frac{q}{8 \cdot l^2} (l^2 - c^2)^2$ $M_B = -\frac{q \cdot c^2}{2}$ $\max. M_F = M_B $, wenn $c = l \cdot (\sqrt{2} - 1)$	$f = \frac{q \cdot l^2}{384 \cdot E \cdot I} \cdot (5 \cdot l^2 - 12c^2)$ (bei $x = \frac{l}{2}$) $f_1 = \frac{q \cdot c}{24 \cdot E \cdot I} \cdot [c^2 \cdot (4l + 3c) - l^3]$

Maßgebende Schnittgrößen von Durchlaufträgern mit gleicher Stützweite unter Gleichstreckenlast 7-2

Kräfte: $-q \cdot l$ Momente: $-q \cdot l^2$ Senkung: $-q_k l^4 / EI$		Laststellung g, s, w	Kräfte: $-q \cdot l$ Momente: $-q \cdot l^2$ Senkung: $-q_k l^4 / EI$		Laststellung q
Zweifeldträger					
A	0,375		max. A	0,438	
B	1,250		max. B	1,250	
$V_{B,li}$	-0,625		min. $V_{B,li}$	-0,625	
M_B	-0,125		min. M_B	-0,125	
M_1	0,070		max. M_1	0,096	
k_{DLT}	0,400		k_{DLT}	0,700	
f_1	54200			f_1	91500
Dreifeldträger					
A	0,400		max. A	0,450	
B	1,100		max. B	1,200	
$V_{B,li}$	-0,600		min. $V_{B,li}$	-0,617	
M_B	-0,100		min. M_B	-0,117	
M_1	0,080		max. M_1	0,101	
k_{DLT}	0,520		k_{DLT}	0,760	
M_2	0,025		max. M_2	0,075	
k_{DLT}	0,040		k_{DLT}	0,520	
f_1	68800			f_1	92200
Vierfeldträger					
A	0,393		max. A	0,446	
B	1,143		max. B	1,223	
C	0,929		max. C	1,143	
$V_{B,li}$	-0,607		min. $V_{B,li}$	-0,621	
M_B	-0,107		min. M_B	-0,121	
M_C	-0,071		min. M_C	-0,107	
M_1	0,077		max. M_1	0,100	
k_{DLT}	0,486		k_{DLT}	0,741	
M_2	0,036		max. M_2	0,081	
k_{DLT}	0,146		k_{DLT}	0,568	
f_1	64600			f_1	97000
Fünffeldträger					
A	0,395		max. A	0,447	
B	1,132		max. B	1,218	
C	0,974		max. C	1,167	
$V_{B,li}$	-0,605		min. $V_{B,li}$	-0,620	
M_B	-0,105		min. M_B	-0,120	
M_C	-0,079		min. M_C	-0,111	
M_1	0,078		max. M_1	0,100	
k_{DLT}	0,496		k_{DLT}	0,746	
M_3	0,046		max. M_3	0,086	
k_{DLT}	0,242		k_{DLT}	0,626	
f_1	65700			f_1	97600

A, B, C, V: [kN]; M: [kNm]; f [cm]; q [kN/m]; l [m]; E [N/mm²]; I [cm⁴]

Beiwerte k_{DLT} für Durchbiegungsberechnungen

Holzquerschnitte und statische Kennwerte

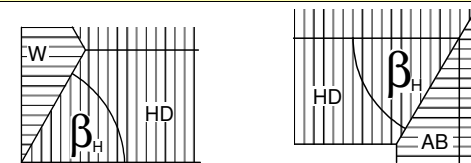
7-3

b/h [mm/mm]	VH	KVH	BSH	A [cm ²] [mm ² ×10 ²]	W _y [cm ³] [mm ³ ×10 ³]	I _y [cm ⁴] [mm ⁴ ×10 ⁴]	W _z [cm ³] [mm ³ ×10 ³]	I _z [cm ⁴] [mm ⁴ ×10 ⁴]	i _y [cm] [mm×10]	i _z [cm] [mm×10]	
60	60	✓		36	36	108	36	108	1,73	1,73	
	80	✓		48	64	256	48	144	2,31		
	100	✓	✓	60	100	500	60	180	2,89		
	120	✓	✓	✓	72	144	864	72	216		3,46
	140	✓			84	196	1372	84	252		4,04
	160	✓	✓	✓	96	256	2048	96	288		4,62
	180	✓	✓		108	324	2916	108	324		5,20
	200	✓	✓		120	400	4000	120	360		5,77
	220	✓			132	484	5324	132	396		6,35
240	✓	✓		144	576	6912	144	432	6,93		
80	80	✓		64	85	341	85	341	2,31	2,31	
	100	✓		✓	80	133	667	107	427		2,89
	120	✓	✓	✓	96	192	1152	128	512		3,46
	140	✓	✓		112	261	1829	149	597		4,04
	160	✓	✓	✓	128	341	2731	171	683		4,62
	180	✓	✓		144	432	3888	192	768		5,20
	200	✓	✓	✓	160	533	5333	213	853		5,77
	220	✓			176	645	7099	235	939		6,35
	240	✓	✓		192	768	9216	256	1024		6,92
260	✓			208	901	11717	277	1109	7,51		
100	100	✓	✓		100	167	833	167	833	2,89	2,89
	120	✓			120	240	1440	200	1000	3,46	
	140	✓			140	327	2287	233	1167	4,04	
	160	✓	✓	✓	160	427	3413	267	1333	4,62	
	180	✓	✓		180	540	4860	300	1500	5,20	
	200	✓	✓	✓	200	667	6667	333	1667	5,77	
	220	✓			220	807	8873	367	1833	6,35	
	240	✓	✓		240	960	11520	400	2000	6,93	
	260	✓			260	1127	14647	433	2167	7,51	
280	✓			280	1307	18293	467	2333			
120	120	✓	✓	✓	144	288	1728	288	1728	3,46	3,46
	140	✓			168	392	2744	336	2016	4,04	
	160	✓	✓	✓	192	512	4096	384	2304	4,62	
	180	✓			216	648	5832	432	2592	5,20	
	200	✓	✓	✓	240	800	8000	480	2880	5,77	
	220	✓			264	968	10648	528	3168	6,35	
	240	✓	✓	✓	288	1152	13824	576	3456	6,93	
	260	✓			312	1352	17576	624	3744	7,51	
	280	✓		✓	336	1568	21952	672	4032	8,09	
320	✓		✓	384	2048	32768	768	4608	9,25		
140	140	✓	✓	✓	196	457	3201	457	3201	4,04	4,04
	160	✓		✓	224	597	4779	523	3659	4,62	
	180	✓			252	756	6804	588	4116	5,20	
	200	✓		✓	280	933	9333	653	4573	5,77	
	220	✓			308	1129	12423	719	5031	6,35	
	240	✓	✓	✓	336	1344	16128	784	5488	6,93	
	260	✓			364	1577	20505	849	5945	7,51	
	280	✓		✓	392	1829	25611	915	6403	8,08	
	320	✓		✓	448	2389	38229	1045	7317	9,25	
360	✓		✓	504	3024	54432	1176	8232	10,40		
160	160	✓		✓	256	683	5461	683	5461	4,62	4,62
	180	✓			288	864	7776	768	6144	5,20	
	200	✓		✓	320	1067	10667	853	6827	5,77	
	220	✓			352	1291	14197	939	7509	6,35	
	240	✓		✓	384	1536	18432	1024	8192	6,93	
	260	✓			416	1803	23435	1109	8875	7,51	
	280	✓		✓	448	2091	29269	1195	9557	8,08	
	320	✓		✓	512	2731	43691	1365	10923	9,24	
	360	✓		✓	576	3456	62208	1536	12288	10,40	
400	✓		✓	640	4267	85333	1707	13653	11,56		
Erläuterung:	Vorzugsquerschnitte			b · h	$\frac{b \cdot h^2}{6}$	$\frac{b \cdot h^3}{12}$	$\frac{h \cdot b^2}{6}$	$\frac{h \cdot b^3}{12}$	$\sqrt{\frac{I_y}{A}}$	$\sqrt{\frac{I_z}{A}}$	

Grat-/ Kehlgrundwinkel

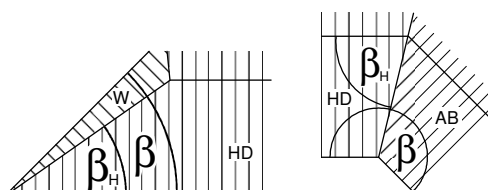
Gleichung 1:
Nur rechtwinklige, waagerechte Traufecken

$$\beta_H = \text{atn} \left(\frac{\tan \alpha_w}{\tan \alpha_H} \right)$$



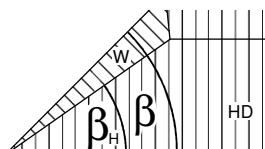
Gleichung 2:
Nur nicht rechtwinklige, waagerechte Traufecken

$$\beta_H = \text{atn} \left(\frac{\tan \alpha_w}{\tan \beta + \sin \beta} \right)$$



Gleichung 3:
Beliebige Traufecken

$$\beta_H = \text{atn} \left(\frac{\sin \beta}{\tan \alpha_H \cdot \left(\frac{1}{\tan \alpha_w} + \tan \alpha_H \right)} \right)$$

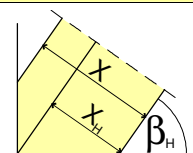


Bei Walmdächern liegen β_H und β_W zwischen waagerechter Traufe und Gratgrundlinie. Bei Winkelbauten liegen β_H und β_{AB} zwischen waagerechtem First und Kehlgrundlinie. Diese Winkel sind auch die Maschinenwinkel für den Abschnitt entlang der Schifferlotschmiege. Bei den Gleichungen 2 und 3 deutet ein negatives Ergebnis auf eine Kehlsituation, ein positives Ergebnis auf eine Gratsituation hin.
 β = Bauseitiger Grundwinkel zwischen waagerechten Traufen
 α_H = HD-Neigung α_w = Walm-/ AB-Neigung

Grundverschiebung

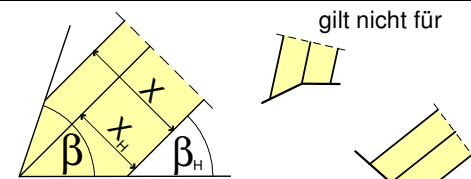
Gleichung 4:
Nur rechtwinklige, waagerechte Traufecken

$$X_H = X \cdot \sin \beta_H \cdot \sin \beta_H$$



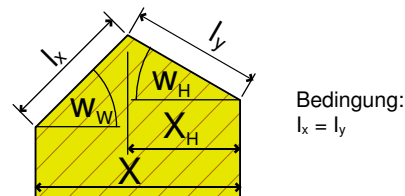
Gleichung 5:
Nur nicht rechtwinklige, waagerechte Traufecken

$$X_H = \frac{X \cdot \cos(\beta - \beta_H) \cdot \sin \beta_H}{\sin \beta}$$



Gleichung 6:
Sonderfälle (z. B. Wintergärten)

$$X_H = \frac{X \cdot \cos w_H}{\cos w_H + \cos w_w}$$

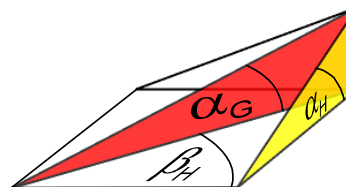


Durch die Grundverschiebung können extreme Abgratungs-/ Auskehlnmaße vermieden werden. Grat- und Kehlsparrn behalten einen größeren Nettoquerschnitt.
 In Gleichung 6 werden die Abgratungswinkel w_H und w_w eingesetzt, um z. B. gleich breite Glasauflager bei Wintergärten zu erhalten.
 X = volle Grat-/ Kehlsparrnbreite X_H = abzugratende/ auszukehlende Bauteilbreite auf HD-Seite

Grat-/ Kehlneigung

Gleichung 7:
Allgemeingültige Gleichung zur Berechnung von Grat-, Kehl-, Flugsparrn und Strahlenschifferneigungen

$$\alpha_G = \text{atn}(\tan \alpha_H \cdot \sin \beta_H)$$

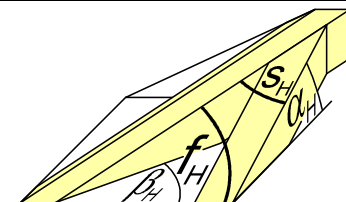


Flächenprofil/ Backenschmiege

Gleichungen 9 und 10:

$$f_H = \text{atn} \left(\frac{\tan \beta_H}{\cos \alpha_H} \right)$$

$$s_H = \text{atn} \left(\frac{\cos \alpha_H}{\tan \beta_H} \right)$$



Der Flächenprofilwinkel f_H ist der in der Dachfläche liegende Winkel zwischen waagerechter Traufe und Grat bzw. zwischen waagerechtem First und Kehllinie. Die Backenschmiege s_H ist die Anreißschmiege für Ober- und Unterseite Schifterschnitt.

Ablaufschema für Nachweise		9-1
Knicknachweis für einteilige Druckstäbe unter zent. Last Tafel 2-3	Nachweis von Zugstäben / Laschenanschluss Tafeln 1-10, 2-4	
1 Knicklänge für beide Richtungen (y und z) bestimmen 2 Trägheitsradien i für beide Richtungen (y und z) berechnen 3 Schlankheit λ für beide Richtungen berechnen, der größere Wert ist maßgebend ($\lambda \leq 150$ empfohlen) 4 Knickbeiwerte $k_{c,y}$ und $k_{c,z}$ für die entsprechende Holzart ablesen 5 Bemessungswert der Spannung der Einwirkungsseite $\sigma_{c,0,d}$ berechnen ($N_{c,d}/A_n$) 6 Bemessungswert der Festigkeit der Baustoffseite $f_{c,0,d}$ berechnen 7 Quotient aus $\sigma_{c,0,d}$ zu $k_c \cdot f_{c,0,d}$ berechnen ($\leq 1,0$)	1 Bemessungswert der Einwirkung $F_{t,0,d}$ bestimmen 2 Nettofläche berechnen 3 Bemessungswert der Festigkeit der Widerstandsseite $f_{t,0,d}$ berechnen 4 Festigkeit für die außenliegenden Holzbauteile reduzieren 5 Bemessungswert der Spannung der Einwirkungsseite $\sigma_{t,0,d}$ berechnen ($F_{t,0,d}/A_n$) 6 Quotient aus $\sigma_{t,0,d}$ zu $f_{t,0,d}$ berechnen ($\leq 1,0$) 7 Prüfen, ob zusätzlich ausziehfeste Verbindungsmittel erforderlich werden	
Nachweis stiftförmige Verbindungsmittel (Abscheren) Tafeln 4-1 bis 4-5	Nachweis von Dübeln besonderer Bauart Tafeln 5-1 bis 5-3	
1 Char. Tragfähigkeit R_k ablesen (ggf. Kraft-/ Faserrichtung berücksichtigen) 2 Voraussetzungen prüfen (Holzdicken, Spaltgefahr, Einschlagtiefe) 3 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_d berechnen 4 Verbindungsmittelanzahl n bestimmen 5 Mindestabstände festlegen bzw. überprüfen 6 Effektiv wirksame Anzahl entsprechend Tafel 4-6 bestimmen 7 Gesamttragfähigkeit überprüfen/ festlegen	1 Char. Tragfähigkeit $R_{c,k}$ ablesen 2 Voraussetzungen prüfen (Holzdicken, Rohdichte) 3 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_d berechnen 4 Verbindungsmittelanzahl n bestimmen 5 Mindestabstände festlegen bzw. überprüfen 6 Effektiv wirksame Anzahl entsprechend Tafel 4-6 bestimmen 7 Gesamttragfähigkeit überprüfen/ festlegen	
Nachweis Biegeträger Tafeln 3-2, 3-3, 3-4, 7-3	Nachweis Querdruck Tafel 2-2	
1 Spannweite ermitteln (vereinfacht: $1,05 \times$ lichte Weite) 2 Bemessungswert der Einwirkungen berechnen (Einheit: kN/m) 3 Schnittgrößen bestimmen 4 Bemessungswerte der Festigkeit der Baustoffseite ($f_{m,d}$ und $f_{v,d}$) berechnen 5 Vorbemessung durchführen; erf. $W_y = \max. M$ [kNm] $\times 1000 / f_{m,d}$, erf. I_y entsprechend Tafeln 3-2, 3-3 oder 3-4 6 Querschnitt anhand Tafel 7-3 auswählen 7 Bauteilnachweise (Biegung, Schub) durchführen	1 Wirksame Querdruckfläche A_{ef} bestimmen (in Faserrichtung um bis zu 2×30 mm verlängert) 2 Bemessungswert der Spannung der Einwirkungsseite $\sigma_{c,90,d}$ berechnen ($N_{c,90,d}/A_{ef}$) 3 Bemessungswert der Festigkeit der Baustoffseite $f_{c,90,d}$ berechnen 4 Beiwert $k_{c,90}$ anhand Tafel 2-2 bestimmen 5 Quotient aus $\sigma_{c,90,d}$ zu $k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$ berechnen ($\leq 1,0$)	

Formelzeichen und Fußzeiger			9-2
f	Festigkeit	E_{mean} E-Modul (Mittelwert)	C Nadelholz (coniferous tree)
f_m	Biegefestigkeit (moment)	$E_{0,05}$ E-Modul (5%-Quantilwert)	GL Brettschichtholz (glue laminated)
f_t	Zugfestigkeit (tension)	G Schubmodul	D Laubholz (deciduous tree)
f_c	Druckfestigkeit (compression)	G_R Rollschubmodul	h homogene Festigkeit (homogenous)
f_v	Schubfestigkeit (vertical load)	ρ Rohdichte	c kombinierte Festigkeit (combined)
f_R	Rollschubfestigkeit	λ Schlankheitsgrad	
f_{k}	charakteristischer Wert		σ Normalspannung, Längsspannung
f_{d}	Bemessungswert (design)	γ_M Teilsicherheitsbeiwert Holz	τ Schubspannung
		$\gamma_{G,Q}$ Teilsicherheitsbeiwert Einwirkung	
E	Einwirkung	KLED Klasse der Lasteinwirkungsdauer	W_G Verformung infolge ständiger Einwirkung
	G: ständig, Q: veränderlich	NKL Nutzungsklasse	W_Q Verformung infolge veränderlicher Einwirkung
R	Tragwiderstand (Resistance)	k_{mod} Modifikationsbeiwert	w_0 Überhöhung im lastfreien Zustand
C	Gebrauchstauglichkeit	k_{def} Verformungsbeiwert	w_{fin} Endverformung
M	Moment	ψ (Kombinations-)Beiwert	w_{inst} elastische Anfangsverformung
V	Querkraft		
f_k	charakteristischer Wert		
f_d	Bemessungswert		

Für diese Formelsammlung haben Pate gestanden:

- Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Holzbauwerke nach DIN 1052 (08/04), mb AEC Software GmbH, Kaiserslautern.
- Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Holzbauteile und stiftförmige Verbindungsmittel nach DIN 1052:2004, Informationsdienst Holz, Bonn.
- Francois Colling: Holzbau – Grundlagen, Bemessungshilfen. 1. Auflage, Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2004.
- Wendehorst – Bautechnisch Zahlentafeln. 32. Auflage, Teubner Verlag, Wiesbaden, 2007.

Stand: 16. November 2011

Eine Haftung für den Inhalt dieser Formelsammlung kann nicht übernommen werden.