

Bemessung und Konstruktion im Holzbau – Formelsammlung

Holzbau nach DIN EN 1995-1-1 sowie NA
 Lastannahmen nach DIN EN 1991 sowie NA
 Wärmeschutz nach DIN 4108 sowie EN 6946

Zusammengestellt von: Dr. Holger Schopbach



Charakteristische Materialkennwerte: Nadelholz, Brettschichtholz und Laubholz 1-1

		Nadelholz [DIN EN 338]		Brettschichtholz [DIN EN 14080]				Laubholz [DIN EN 338]		
Festigkeitsklasse		C24	C30	GL24		GL28	GL30	D30	D40	
				h	c	c	c			
Festigkeitskennwerte [N/mm²]										
Biegung		f _{m,k}	24 ⁴⁾	30 ⁴⁾	24 ⁵⁾⁶⁾		28 ⁵⁾⁶⁾	30 ⁵⁾⁶⁾	30	40
Zug	parallel	f _{t,0,k}	14,5 ⁴⁾	19 ⁴⁾	19,2	17	19,5		18	24
	rechtwinklig	f _{t,90,k}	0,4		0,5			0,6		
Druck	parallel	f _{c,0,k}	21	24	24	21,5	24	24,5	24	27
	rechtwinklig	f _{c,90,k}	2,5	2,7	2,5			5,3	5,5	
Schub und Torsion		f _{v,k}	2 ^{1,2)}		2,5 ¹⁾			2,6 ¹⁾	2,8 ¹⁾	
Steifigkeitskennwerte [N/mm²]										
Elastizitätsmodul	parallel	E _{0,mean}	11000	12000	11500	11000	12500	13000	11000	13000
		E _{0,05³⁾}	7370	8040	9600	9100	10400	10800	9240	10920
	rechtwinklig	E _{90,mean}	370	400	300			730	870	
Schubmodul		G _{mean}	690	750	650			690	810	
		G _{0,05}	460	500	540			460	540	
Rohdichtekennwerte [kg/m³]										
Rohdichte		ρ _k	350	380	385	365	390	390	530	550
		ρ _{mean}	420	460	420	400	420	430	640	660

Die tabellierten Eigenschaften gelten für Holz mit einem bei 20°C und 65 % rel. Luftfeuchte üblichen Feuchtegehalt.

- 1) Bei f_{v,k} handelt es sich um die mit k_{cr} entsprechend dem nationalen Anhang (NDP 6.1.7(2)) bzw. Absatz 6.1.7 reduzierte Schubfestigkeit.
 Nadelholz: k_{cr} = 0,5; Brettschichtholz: k_{cr} = 0,714; Laubholz: k_{cr} = 0,67.

Anmerkungen für Vollholz

- 2) Die Schubfestigkeit von Nadelschnittholz darf in Bereichen, die mind. 1,5 m vom Hirnholzende entfernt liegen, um 30 % erhöht werden (NDP Zu 6.1.7(2) Schub).
- 3) Die Steifigkeitskennwerte E_{0,05} von Vollholz (Nadel- und Laubholz) werden nach DIN EN 338:2010 folgendermaßen ermittelt:
 Nadelholz: E_{0,05} = 0,67 · E_{0,mean}; Laubholz: E_{0,05} = 0,84 · E_{0,mean}.
- 4) Für Bauteile aus Vollholz (ρ_k ≤ 700 kg/m³) mit Rechteckquerschnitten und Querschnittshöhen bei Biegung oder der größten Querschnitts-abmessung bei Zug, die weniger als 150 mm betragen, dürfen die charakteristischen Werte für f_{m,k} und f_{t,0,k} mit dem Beiwert k_h erhöht werden (3.2).

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2}; 1,3 \right\}$$

h	40	60	80	90	100	110	120	130	140	≥ 150
kh	1,30	1,20	1,13	1,11	1,08	1,06	1,05	1,03	1,01	1,00

Anmerkungen für Brettschichtholz

- 5) Für Bauteile aus Brettschichtholz mit Rechteckquerschnitten und Querschnittshöhen bei Biegung oder der größten Querschnitts-abmessung bei Zug, die weniger als 600 mm betragen, dürfen die charakteristischen Werte für f_{m,k} und f_{t,0,k} mit dem Beiwert k_h erhöht werden (3.2).

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

h	≤ 240	280	320	360	400	440	480	520	560	≥ 600
k _h	1,10	1,08	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,01	1,00

- 6) Bei Hochkant-Biegebeanspruchung der Lamellen von homogenem Brettschichtholz aus mindestens vier nebeneinander liegenden Lamellen darf die charakteristische Biegefestigkeit mit dem Faktor 1,2 erhöht werden (NCI Zu 3.3).

Bemessungswert: f_d = f_k · k_{mod} / γ_M (γ_{M, Holz} = 1,3)

Charakteristische Materialkennwerte: OSB und Spanplatten

1-2

OSB/2 und OSB/3 [DIN EN 12369-1]

Beanspruchung	parallel zur Spanrichtung der Deckschicht			rechtwinklig zur Spanrichtung der Deckschicht		
Nenndicke der Platten [mm]	> 6 bis 10	> 10 bis 18	> 18 bis 25	> 6 bis 10	> 10 bis 18	> 18 bis 25

Festigkeitskennwerte [N/mm²]

Plattenbeanspruchung							
Biegung	$f_{m,k}$	18,0	16,4	14,8	9,0	8,2	7,4
Schub	$f_{v,k}$	1,0					
Scheibenbeanspruchung							
Biegung	$f_{m,k}$	9,9	9,4	9,0	7,2	7,0	6,8
Zug	$f_{t,k}$						
Druck	$f_{c,k}$	15,9	15,4	14,8	12,9	12,7	12,4
Schub	$f_{v,k}$	6,8					

Steifigkeitskennwerte [N/mm²]

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/m³]

Rohdichte	ρ_k	550					
-----------	----------	-----	--	--	--	--	--

Kunstharzgebundene Spanplatten P4 und P5 [DIN EN 12369-1]

		P4			P5		
Nenndicke der Platten [mm]		> 6 bis 13	> 13 bis 20	20 > bis 25	> 6 bis 13	> 13 bis 20	20 > bis 25

Festigkeitskennwerte [N/mm²]

Plattenbeanspruchung							
Biegung	$f_{m,k}$	14,2	12,5	10,8	15,0	13,3	11,7
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	$f_{t,k}$						
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

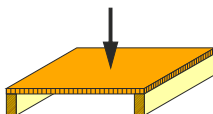
Steifigkeitskennwerte [N/mm²]

Plattenbeanspruchung							
Elastizitätsmodul	$E_{mean}^{2)}$	3200	2900	2700	3500	3300	3000
Schubmodul [DIN 1052]	$G_{mean}^{2)}$	200					
Scheibenbeanspruchung							
Elastizitätsmodul	$E_{mean}^{2)}$	1800	1700	1600	2000	1900	1800
Schubmodul	$G_{mean}^{2)}$	860	830	770	960	930	860

Rohdichtekennwerte [kg/m³]

Rohdichte	ρ_k	650	600	550	650	600	550
-----------	----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Plattenbeanspruchung



Scheibenbeanspruchung



Anmerkungen für OSB

1) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$ und $G_{0,05}$ von OSB gelten die Rechenwerte:
 $E_{0,05} = 0,85 \cdot E_{mean}$ $G_{0,05} = 0,85 \cdot G_{mean}$

Anmerkungen für kunstharzgebundene Spanplatten

2) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$ und $G_{0,05}$ von Spanplatten gelten die Rechenwerte:
 $E_{0,05} = 0,8 \cdot E_{mean}$ $G_{0,05} = 0,8 \cdot G_{mean}$

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

Charakteristische Materialkennwerte: Faserplatten und Gipsplatten

1-3

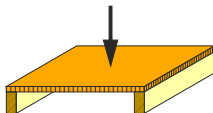
Faserplatten [DIN EN 1995-1-1/NA]

Beanspruchung		HB.HLA2 (harte Platten)			MBH.LA2 (mittelharte Platten)			
Nenndicke der Platten [mm]		> 3,5 bis 5,5		> 5,5		≤ 10		> 10
Festigkeitskennwerte [N/mm ²]								
Plattenbeanspruchung								
Biegung	$f_{m,k}$	35,0		32,0		17,0		15,0
Druck	$f_{c,90,k}$	12,0						8,0
Schub	$f_{v,k}$	3,0		2,5		0,3		0,25
Scheibenbeanspruchung								
Biegung	$f_{m,k}$	26,0		23,0		9,0		8,0
Zug	$f_{t,k}$							
Druck	$f_{c,k}$	27,0		24,0				
Schub	$f_{v,k}$	18,0		16,0		5,5		4,5
Steifigkeitskennwerte [N/mm ²]								
Plattenbeanspruchung								
Elastizitätsmodul	$E_{mean}^{1)}$	4800		4600		3100		2900
Schubmodul	$G_{mean}^{1)}$	200						100
Scheibenbeanspruchung								
Elastizitätsmodul	$E_{mean}^{1)}$	4800		4600		3100		2900
Schubmodul	$G_{mean}^{1)}$	2000		1900		1300		1200
Rohdichtekennwerte [kg/m ³]								
Rohdichte	ρ_k	850		800		650		600

Gipsplatten [DIN EN 1995-1-1/NA]

Nenndicke der Platten [mm]		parallel zur Herstellrichtung			rechtwinklig zur Herstellrichtung						
		12,5		15		18 ⁴⁾		12,5	15	18 ⁴⁾	
Festigkeitskennwerte [N/mm ²]											
Plattenbeanspruchung											
Biegung	$f_{m,k}$	6,5		5,4		4,2		2,0		1,8	1,5
Druck	$f_{c,90,k}$	3,5 (5,5) ³⁾									
Scheibenbeanspruchung											
Biegung	$f_{m,k}$	4,0		3,8		3,6		2,0		1,7	1,4
Zug	$f_{t,k}$	1,7		1,4		1,1		0,7			
Druck	$f_{c,k}$	3,5 (5,5) ³⁾						4,2 (4,8) ³⁾			
Schub	$f_{v,k}$	1,0									
Steifigkeitskennwerte [N/mm ²]											
Plattenbeanspruchung											
Elastizitätsmodul	$E_{mean}^{2)}$	2800						2200			
Scheibenbeanspruchung											
Elastizitätsmodul	$E_{mean}^{2)}$	1200						1000			
Schubmodul	$G_{mean}^{2)}$	700									
Rohdichtekennwerte [kg/m ³]											
Rohdichte	ρ_k	680 (800) ³⁾									

Plattenbeanspruchung



Scheibenbeanspruchung



Anmerkungen für Faserplatten

- 1) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$ und $G_{0,05}$ von Faserplatten gelten die Rechenwerte:
 $E_{0,05} = 0,8 \cdot E_{mean}$ $G_{0,05} = 0,8 \cdot G_{mean}$

Anmerkungen für Gipsplatten

- 2) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$ und $G_{0,05}$ von Gipsplatten gelten die Rechenwerte:
 $E_{0,05} = 0,9 \cdot E_{mean}$ $G_{0,05} = 0,9 \cdot G_{mean}$
- 3) Klammerwerte gelten für GKF- und GKFI-Platten
- 4) Können im Rahmen der Ausführung alternativ durch Gipsplatten der Nenndicke 20 bzw. 25 mm ersetzt werden

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

Modifikationsbeiwert k_{mod}
1-4

KLED	Vollholz, ¹⁾ Brettschichtholz ²⁾ , Furnierschichtholz LVL ³⁾ , Balkenschichtholz, ⁴⁾ Brettsperrholz, ⁴⁾ Massivholzplatten, ⁴⁾ Sperrholz ⁵⁾		Kunstharz- und zementgebundene Spanplatten, OSB, Holzfaserplatten (hart) P4 ⁶⁾ , P5 ZSP, OSB/2 ⁶⁾ HB.LA ⁶⁾ HB.HLA1 und 2				P6 ⁶⁾ , P7 OSB/3, OSB/4		Gipsplatten GKB ⁶⁾ , GKF ⁶⁾ , GKBI, GKFI, Gipsfaserplatten, Holzfaserplatten, (mittelhart und MDF) MBH.LA1 und 2 ⁶⁾ , MBH.HLS1 und 2 ⁷⁾ , MDF.LA ⁶⁾ , MDF.HLS	
	NKL									
	1 und 2	3	1	2	1	2	1	2		
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 (0,45 ⁸⁾)		
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) Lamellendicke max. 35 mm in NKL 3 3) Technische Klasse „LVL1“ nur für NKL 1, „LVL2“ für NKL 1 und 2, „LVL3“ für alle NKL 4) Nur zulässig in NKL 1 und 2				5) Technische Klasse „Trocken“ nur für NKL 1, „Feucht“ für NKL 1 und 2, „Außen“ für alle NKL 6) Nur zulässig in NKL 1 7) In NKL 2 nur zulässig für kurze und sehr kurze Einwirkungen 8) Gilt für Holzfaserplatten (mittelhart und MDF) bei KLED= kurz						

Verformungsbeiwert k_{def}
1-5

NKL	Vollholz, ¹⁾²⁾ Brettschichtholz ³⁾ , Furnierschichtholz LVL (Furniere faserparallel), Balkenschichtholz, ⁴⁾ Brettsperrholz, ⁴⁾ Massivholzplatten ⁴⁾		Spanplatten (kunstharz und zementgebunden), OSB, Holzfaserplatten (hart und MDF) P4 ⁶⁾ , P5, ZSP, OSB/2 ⁶⁾ HB.LA ⁶⁾ HB.HLA1 o. 2 MDF.LA ⁶⁾ MDF.HLS		P6 ⁶⁾ , P7 OSB/3, OSB/4		Holzfaserplatten MBH.LA1 und 2 ⁶⁾ , MBH.HLS1 und 2		Gipsplatten GKB ⁶⁾ , GKF ⁶⁾ , GKBI, GKFI, Gipsfaserplatten	
	Sperrholz ⁵⁾ , Furnierschicht- holz LVL (mit Querfurnieren)									
1	0,6	0,8	2,25	1,5	3,0	3,0				
2	0,8	1,0	3,0	2,25	4,0	4,0				
3	2,0	2,5	—	—	—	—				
1) Vollholz mit Einbaufeuchte > 30 %, das unter Belastung austrocknet: NKL 1: 1,6; NKL 2: 1,8; NKL 3: 3,0 2) Keilgezinktes Vollholz nur zulässig in NKL 1 und 2 3) Lamellendicke max. 35 mm in NKL 3				4) Nur zulässig in NKL 1 und 2 5) Technische Klasse „Trocken“ nur für NKL 1, „Feucht“ für NKL 1 und 2, „Außen“ für alle NKL 6) Nur zulässig in NKL 1						

Rechenwerte für das Schwind- und Quellmaß rechtwinklig zur Faser bzw. in Plattenebene 1-6

Vollholz ¹⁾	Schwind- und Quellmaß in % für Änderungen der Holzfeuchte um 1 % unterhalb der Fasersättigung		Holzwerkstoffe
Nadelholz ²⁾ (z. B. Fichte, Kiefer, Tanne, Lärche, Douglasie)	0,25	0,02	Sperrholz, Brettsperrholz, Massivholzplatten in Plattenebene
		0,32	Sperrholz rechtw. zur Plattenebene
		0,25	Brettsperrholz, Massivholzplatten rechtwinklig zur Plattenebene
Laubholz	0,35	0,035	Kunstharzgebundene Spanplatte, Faserplatte
1) Bei Vollholz gilt in Faserrichtung ein Rechenwert von 0,01 %/% 2) Werte gelten auch für Balken- und Brettschichtholz aus diesen Holzarten		0,03	OSB/2, OSB/3, Zementgebundene Spanplatte
		0,015	OSB/4
		0,01	Furnierschichtholz in Faserrichtung der Deckfurnier rechtwinklig dazu (ohne Querfurniere)
		0,32	rechtwinklig dazu (mit Querfurnieren)
		0,03	

Nutzungsstufe NKL 1-7

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

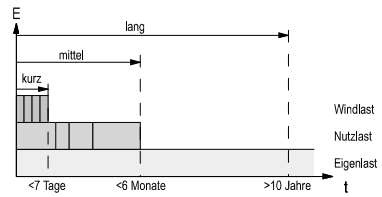
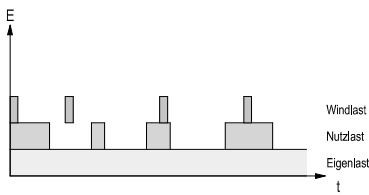
1) In den meisten Nadelhölzern wird in der Nutzungsstufe 1 eine mittlere Ausgleichsfeuchte von 12 % nicht überschritten.
 2) In den meisten Nadelhölzern wird in der Nutzungsstufe 2 eine mittlere Ausgleichsfeuchte von 20 % nicht überschritten.
 3) NKL 3 schließt auch Bauwerke ein, in denen sich höhere Gleichgewichtsfeuchten einstellen können

Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED)

1-8

Klasse der Lasteinwirkungsdauer KLED	Größenordnung der akkumulierten Dauer der char. Lasteinwirkung	Beispiele	
ständig	länger als 10 Jahre	Eigenlasten	
lang	6 Monate bis 10 Jahre	Lagerstoffe	
mittel	1 Woche bis 6 Monate	Verkehrslasten	
kurz	kürzer als eine Woche	Schneelasten	
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

1-9

Einwirkungen (DIN EN 1990)				Material			
Tragfähigkeit		Gebrauchstauglichkeit		Tragfähigkeit			Gebrauchstauglichkeit
ständige Einwirkung	veränderliche Einwirkung	ständige Einwirkung	veränderliche Einwirkung	Holz, Holz- bzw. Gipswerkstoffe	Stahl in Verbindungen		
γ_G	γ_Q	γ_G	γ_Q		Biegung, Zug/Scheren	Nagelplatten	
				γ_M	γ_M	γ_M	γ_M
1,35 (1,0 ¹⁾)	1,5 (0 ¹⁾)	1,0	1,0	1,3	1,3 (1,1 ²⁾)	1,25	1,0

1) Klammerwerte für günstige Einwirkung

2) Beim vereinfachten Nachweis für stiftförmige Verbindungsmittel entsprechend DIN EN 1995-1-1/NA darf $\gamma_M = 1,1$ gewählt werden.

Einteilung der Einwirkungen und Beiwerte		1-10		
		KLED	$\psi_0^{(1)}$	$\psi_2^{(1)}$
	Wichten und Flächenlasten (Eigenlasten) G_k nach DIN EN 1991-1-1	ständig	1,0	1,0
Kategorie	Lotrechte Nutzlasten $Q_{k,N}$ nach DIN EN 1991-1-1			
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		
E1	Lager, Fabriken und Werkstätten, Ställe, Lagerräume und Zugänge	lang	1,0	0,8
E2	Flächen für den Betrieb mit Gabelstaplern	mittel		
F	Verkehrs- und Parkflächen für leichte Fahrzeuge (Gesamtlast ≤ 30 kN) Zufahrtsrampen zu diesen Flächen	mittel kurz	0,7	0,6
H	nicht begehbare Dächer, außer für übliche Erhaltungsmaßnahmen, Reparaturen	kurz	0	0
K	Hubschrauber Regellasten	kurz		
T	Treppen und Treppenpodeste	kurz		
Z	Zugänge, Balkone und Ähnliches	kurz		
Horizontale Nutzlasten $Q_{k,N}$ nach DIN EN 1991-1-1				
	Horizontale Nutzlasten infolge von Personen auf Brüstungen, Geländern und anderen Konstruktionen, die als Absperrung dienen	kurz		
	Horizontallasten zur Erzielung einer ausreichenden Längs- und Quersteifigkeit	2)		
	Horizontallasten für Hubschrauberlandeplätze auf Dachdecken, für horizontale Nutzlasten, für den Überrollschutz	kurz sehr kurz		
Windlasten $Q_{k,W}$ nach DIN EN 1991-1-4		kurz/sehr kurz ³⁾	0,6	0
Schnee- und Eislasten $Q_{k,S}$ nach DIN EN 1991-1-3				
	Geländehöhe des Bauwerkstandortes über NHN ≤ 1000 m	kurz	0,5	0
	Geländehöhe des Bauwerkstandortes über NHN > 1000 m	mittel	0,7	0,2
Anpralllasten nach DIN EN 1991-1-7		sehr kurz		
Horizontallasten aus Kran- und Maschinenbetrieb nach DIN EN 1991-3		kurz		
1) ψ -Werte nach DIN EN 1990/NA 2) Entsprechend den zugehörigen Lasten. 3) Bei Windlasten darf für K_{mod} das Mittel aus kurz und sehr kurz verwendet werden.				

Querschnittschwächungen, z. B. durch Bohrungen, Einfräsungen und Einschnitte, sind beim Tragfähigkeitsnachweis rechnerisch zu berücksichtigen. Die Nachweisführung erfolgt mit A_{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 größer als die des Holzes oder Holzwerkstoffes ist. Baumkanten, die den Sortierkriterien der DIN 4074-1 bzw. der DIN EN 14081-1 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	$d \leq 6 \text{ mm}$: Schwächung wird vernachlässigt $d > 6 \text{ mm}$: $d \cdot b$	
	vorgebohrt ¹⁾	$d \cdot b$	
Stabdübel, Passbolzen		$d \cdot b$	
Bolzen, Gewindestangen		$(d + 1 \text{ mm}) \cdot b$	
Dübel bes. Bauart	Mittelholz ²⁾	$2 \cdot \Delta A + (d + 1 \text{ mm}) \cdot b_2$	
	Seitenholz ²⁾	$\Delta A + (d + 1 \text{ mm}) \cdot b_1$	

Bei mehreren Verbindungsmittelreihen

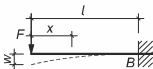
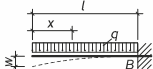
--	--	--

Querschnittschwächungen durch Keilzinkenverbindungen nach DIN EN 385

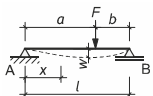
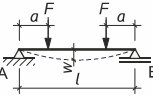
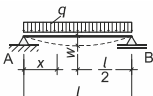
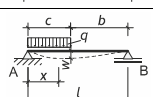
Querschnitte mit Breiten bzw. Höhen bis 300 mm	Schwächung wird vernachlässigt	
Universal-Keilzinkenverbindung bei BSH	$\Delta A = 0,2 \cdot b \cdot h$	

- Bei vorgebohrten Verbindungsmitteln darf der Bohrl Lochdurchmesser angesetzt werden. Nägel sollten mit max. 0,8 d vorgebohrt werden. Schrauben mit Schaft müssen im Schaftbereich mit d und sollten im Gewindebereich mit 0,7 d vorgebohrt werden.
- Die Länge der Bohrlöcher darf rechnerisch um die Einlass-/ Einpresstiefe h_e der Dübel verringert werden.

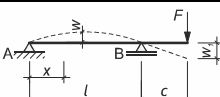
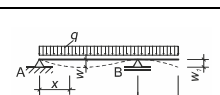
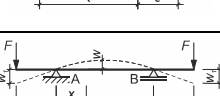
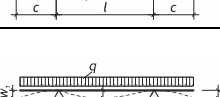
Kragträger

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

Einfeldträger

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

Einfeldträger mit Kragarm

Belastungsfall	Auflagerkräfte	Biegemoment	Durchbiegung
	$A = -\frac{F \cdot c}{\ell}$ $B = \frac{F \cdot (\ell + c)}{\ell}$	$M_B = -F \cdot c$ $x \leq \ell: M_{(x)} = A \cdot x = -\frac{F \cdot c \cdot x}{\ell}$	$w = \frac{F \cdot \ell^2}{9 \cdot E \cdot I} \cdot \frac{c}{\sqrt{3}}$ (bei $x = 0,577 \cdot \ell$) $w_1 = \frac{F \cdot c^2}{3 \cdot E \cdot I} \cdot (\ell + c)$
	$A = \frac{q}{2 \cdot \ell} \cdot (\ell^2 - c^2)$ $B = \frac{q}{2 \cdot \ell} \cdot (\ell + c)^2$	$\max. M_F = \frac{q}{8 \cdot \ell^2} \cdot (\ell^2 - c^2)^2$ $M_B = -\frac{q \cdot c^2}{2}$ $\max. M_F = M_B $, wenn $c = \ell \cdot (\sqrt{2} - 1)$	$w = \frac{q \cdot \ell^2}{384 \cdot E \cdot I} \cdot (5 \cdot \ell^2 - 12c^2)$ (bei $x = \frac{\ell}{2}$) $w_1 = \frac{q \cdot c}{24 \cdot E \cdot I} \cdot [c^2 \cdot (4\ell + 3c) - \ell^3]$
	$A = B = F$	$M_A = M_B = -F \cdot c$	$w = \frac{F \cdot \ell^2}{8 \cdot E \cdot I}$ (bei $x = \frac{\ell}{2}$) $w_1 = \frac{F \cdot c^2}{3 \cdot E \cdot I} \cdot \left(c + \frac{3 \cdot \ell}{2}\right)$
	$A = B = \frac{q}{2} \cdot (\ell + 2 \cdot c)$	$M_A = M_B = -\frac{q \cdot c^2}{2}$ $M_F = \frac{q \cdot \ell^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{4} - \frac{c^2}{\ell^2}\right)$ $\max. M_F = M_B = \pm \frac{q \cdot \ell^2}{16}$ wenn $c = 0,3535 \cdot \ell$	$w = \frac{q \cdot \ell^4}{16 \cdot E \cdot I} \cdot \left(\frac{5}{24} - \frac{c^2}{\ell^2}\right)$ $w_1 = \frac{q \cdot \ell^4}{24 \cdot E \cdot I} \cdot \left[3 \cdot \frac{c^4}{\ell^4} + 6 \cdot \frac{c^3}{\ell^3} - \frac{c}{\ell}\right]$

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

Kräfte:	-q · ℓ	Laststellung g, s, w	Kräfte:	-q · ℓ	Laststellung q
Momente:	-q · ℓ ²		Momente:	-q · ℓ ²	
Senkung:	-q · ℓ ⁴ /EI		Senkung:	-q · ℓ ⁴ /EI	

Zweifeldträger

A	0,375		max. A	0,438	
B	1,250		max. B	1,250	
V _{B,II}	-0,625		min. V _{B,II}	-0,625	
M _B	-0,125		min. M _B	-0,125	
M ₁	0,070		max. M ₁	0,096	
w ₁	54200		w ₁	91500 ¹⁾	

Dreifeldträger

A	0,400		max. A	0,450	
B	1,100		max. B	1,200	
V _{B,II}	-0,600		min. V _{B,II}	-0,617	
M _B	-0,100		min. M _B	-0,117	
M ₁	0,080		max. M ₁	0,101	
M ₂	0,025		max. M ₂	0,075	
w ₁	68800		w ₁	99200	

Vierfeldträger

A	0,393		max. A	0,446	
B	1,143		max. B	1,223	
C	0,929		max. C	1,143	
V _{B,II}	-0,607		min. V _{B,II}	-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	
M ₂	0,036		max. M ₂	0,081	
w ₁	64600		w 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,II}	-0,605		min. V _{B,II}	-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	
M ₃	0,046		max. M ₃	0,086	
w ₁	65700		w ₁	97600	

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

1) Für die Durchbiegung infolge einer Einzellast an ungünstigster Stelle ergibt sich: w_{1,F} = 150100 · F_k · ℓ³/EI

Holzquerschnitte und statische Kennwerte										2-3	
b/h [mm/mm]	VH	KVH	BSH	A [cm ²]	W _v [cm ³]	I _v [cm ⁴]	W _z [cm ³]	I _z [cm ⁴]	i _v [cm]	i _z [cm]	
				· 10 ² Δ [mm ²]	· 10 ³ Δ [mm ³]	· 10 ⁴ Δ [mm ⁴]	· 10 ³ Δ [mm ³]	· 10 ⁴ Δ [mm ⁴]	· 10 Δ [mm]	· 10 Δ [mm]	
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	
	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	8,08		
120	120	✓	✓	✓	144	288	1728	288	1728	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	
	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	
	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	$\frac{b \cdot h^2}{6}$	$\frac{b \cdot h^3}{12}$	$\frac{h \cdot b^2}{6}$	$\frac{h \cdot b^3}{12}$	$\sqrt{\frac{I_v}{A}}$	$\sqrt{\frac{I_z}{A}}$	

Lotrechte Nutzlasten für Decken, Treppen und Balkone nach EC1-1-1					2-4
Kategorie		Nutzung	Beispiele	q _k [kN/m ²]	Q _k [kN]
A	A1	Spitzböden	Für Wohnzwecke nicht geeigneter, aber zugänglicher Dachraum bis 1,80 m lichter Höhe	1,0	1,0
	A2	Wohn- und Aufenthaltsräume	Decken mit ausreichender Querverteilung der Lasten, Räume und Flure in Wohngebäuden, Bettenräume in Krankenhäusern, Hotelzimmer einschl. zugehöriger Küchen und Bäder	1,5	-
	A3		wie A2, aber ohne ausreichende Querverteilung der Lasten ¹⁾	2,0 ¹⁾	1,0
B	B1	Büroflächen, Arbeitsflächen, Flure	Flure in Bürogebäuden, Büroflächen, Arztpraxen ohne schweres Gerät, Stationsräume, Aufenthaltsräume einschl. der Flure, Kleinviehställe	2,0	2,0
	B2		Flure und Küchen in Krankenhäusern, Hotels, Altenheimen, Flure in Internaten usw.; Behandlungsräume in Krankenhäusern, einschl. Operationsräume ohne schweres Gerät; Kellerräume in Wohngebäuden	3,0	3,0
	B3		Alle Beispiele von B1 u. B2, jedoch mit schwerem Gerät	5,0	4,0
C	C1	Räume, Versammlungs- räume und Flächen, die der Ansammlung von Personen dienen können (mit Aus- nahme von unter A, B, D und L festgelegten Kategorien)	Flächen mit Tischen; z. B. Kindertagesstätten, Kinderkrippen, Schulräume, Cafés, Restaurants, Speisesäle, Lesesäle, Empfangsräume, Lehrerzimmer	3,0	4,0
	C2		Flächen mit fester Bestuhlung; z. B. Flächen in Kirchen, Theatern oder Kinos, Kongresssäle, Hörsäle, Wartesäle	4,0	4,0
	C3		Frei begehbbare Flächen; z. B. Museumsflächen, Ausstellungsflächen, Eingangsbereiche in öffentlichen Gebäuden, Hotels, nicht befahrbare Hofkellerdecken, sowie die zur Nutzungskategorie C1 bis C3 gehörigen Flure	5,0	4,0
	C4		Sport- und Spielflächen; z. B. Tanzsäle, Sporthallen, Gymnastik- und Kraftsporträume, Bühnen	5,0	7,0
	C5		Flächen für große Menschenansammlungen; z. B. in Gebäuden wie Konzertsäle, Terrassen und Eingangsbereiche sowie Tribünen mit fester Bestuhlung	5,0	4,0
	C6		Flächen mit regelmäßiger Nutzung durch erhebliche Menschenansammlungen, Tribünen ohne feste Bestuhlung	7,5	10,0
D	D1	Verkaufsräume	Flächen von Verkaufsräumen bis 50 m ² Grundfläche in Wohn-, Büro- und vergleichbaren Gebäuden	2,0	2,0
	D2		Flächen in Einzelhandelsgeschäften und Warenhäusern	5,0	4,0
	D3		Flächen wie D2, jedoch mit erhöhten Einzellasten infolge hoher Lagerregale	5,0	7,0
E	E1.1	Lager, Fabriken und Werkstätten, Ställe, Lagerräume und Zugänge	Flächen in Fabriken und Werkstätten mit leichtem Betrieb und Flächen in Großviehställen	5,0	4,0
	E1.2		Allgemeine Lagerflächen, einschließlich Bibliotheken	6,0	7,0
	E2.1		Flächen in Fabriken und Werkstätten mit mittlerem oder schwerem Betrieb	7,5	10,0
H		Dächer	nicht begehbbare Dächer, außer für übliche Erhaltungsmaßnahmen, Reparaturen	-	1,0
T	T1	Treppen und Treppenpodeste	Treppen und Treppenpodeste in Wohngebäuden, Bürogebäuden und von Arztpraxen ohne schweres Gerät	3,0	2,0
	T2		Alle Treppen und Treppenpodeste, die nicht in T1 oder T3 eingeordnet werden können	5,0	2,0
	T3		Zugänge und Treppen von Tribünen ohne feste Sitzplätze, die als Fluchtwege dienen	7,5	3,0
Z		Zugänge, Balkone und ähnliches	Dachterrassen, Laubengänge, Loggien usw., Balkone, Ausstiegspodeste	4,0	2,0

¹⁾ Für die Lastweiterleitung auf stützende Bauteile darf ein Wert von 1,5 kN/m² angesetzt werden.

Eigenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen						2-5a	
Flächenlasten nach EC1-1-1							
Gegenstand		Flächenlast		Gegenstand		Flächenlast	
Fußboden- und Wandbeläge							
Betonwerksteinplatten		0,24	kN/(m ² ·cm)	Keramische Bodenfliesen		0,22	kN/(m ² ·cm)
Gussasphalt		0,23	kN/(m ² ·cm)	Kunststoff-Fußbodenbelag		0,15	kN/(m ² ·cm)
Gussasphaltestrich		0,23	kN/(m ² ·cm)	Linoleum		0,13	kN/(m ² ·cm)
Glasscheiben		0,25	kN/(m ² ·cm)	Natursteinplatten		0,30	kN/(m ² ·cm)
Gipsplatten		0,09	kN/(m ² ·cm)	Teppichboden		0,03	kN/(m ² ·cm)
Gipsfaserplatten		0,12	kN/(m ² ·cm)	Zementestrich		0,22	kN/(m ² ·cm)
Dämm- und Füllstoffe							
Faserdämmstoff nach DIN V 18165-1 und DIN 18165-2 (z. B. Glas- und Steinfaser)		0,01	kN/(m ² ·cm)	Schaumkunststoff		0,01	kN/(m ² ·cm)
Holzwohle-Leichtbauplatten Plattendicke ≤100mm		0,06	kN/(m ² ·cm)	Wärmedämmverbundsystem (WDVS) aus 15 mm dicken bewehrtem Oberputz und Schaumkunststoff oder Faserdämmstoff		0,30	kN/m ²
Plattendicke >100mm		0,04	kN/(m ² ·cm)				
Dachdeckung (einschl. Lattung)				Abdichtungen			
Biberschwanzziegel 155 mm x 375 mm, Doppeldach und Kronendach		0,75	kN/m ²	Bitumen- und Polymerbitumen-Dachdichtungsbahnen einschließlich Klebemasse bzw. Bitumen- und Polymerbitumen-Schweißbahnen im verlegtem Zustand, je Lage		0,07	kN/m ²
Dachsteine aus Beton mit mehrfacher Fußverrippung und hochliegendem Längsfalz bis 10 Stück/m ²		0,50	kN/m ²	Kunststoffbahnen, 1,5 mm dicke		0,02	kN/m ²
				Kiesschüttung, Dicke 5 cm		1,00	kN/m ²
über 10 Stück/m ²		0,55	kN/m ²	Faserzement-Wellplatten		0,20	kN/m ²
				Wellblechdach (verzinkte Stahlbleche, einschließlich Befestigungsmaterial)		0,25	kN/m ²
Altdeutsche Schieferdeckung und Schablonendeckung auf 24 mm Schalung, einschließlich Vordeckung und Schalung in Einfachdeckung in Doppeldeckung		0,50 0,60	kN/m ² kN/m ²	Doppelstehfalzdach aus Titanzink oder Kupfer, 0,7 mm dick einschließlich Verdickung und 24 mm Schalung		0,35	kN/m ²
				Stahlblechdach aus Trapezprofilen		- ¹⁾	
Falzziegel, Reformpfannen, Flachdachpfannen		0,55	kN/m ²	¹⁾ Nach Angabe des Herstellers			
Wichten nach EC1-1-1							
Gegenstand		Wichte		Gegenstand		Wichte	
Lagerstoffe							
Akten und Bücher, Regale und Schränke		6,0	kN/m ³	Papier, gestapelt		11,0	kN/m ³
Baustoffe							
Normalbeton (Baustoffe)		24,0	kN/m ³	Stahlbeton		25,0	kN/m ³
Holz- und Holzwerkstoffe							
Nadelholz: Festigkeitsklasse C24		4,2	kN/m ³	Spanplatten		7-8	kN/m ³
Festigkeitsklasse C30		4,6	kN/m ³	Weichholz-Sperrholz		5,0	kN/m ³
Brettschichtholz: Festigkeitsklasse GL24h		3,7	kN/m ³	Birken-Sperrholz		7,0	kN/m ³
Festigkeitsklasse GL24c		3,5	kN/m ³	Holzfaserplatten:			
Festigkeitsklasse GL28c		3,7	kN/m ³	Hartfaserplatten		10,0	kN/m ³
Laubholz: Festigkeitsklasse D 30		6,4	kN/m ³	Faserplatten mittlerer Dichte		8,0	kN/m ³
Festigkeitsklasse D 40		7,0	kN/m ³	Leichtfaserplatten		4,0	kN/m ³

Eigenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen

2-5b

Wichten nach EC1-1-1

Metalle					
Gegenstand	Wichte		Gegenstand	Wichte	
Aluminium	27	kN/m ³	Schmiedeeisen	76	kN/m ³
Messing	83 bis 85	kN/m ³	Blei	112 bis 114	kN/m ³
Bronze	83 bis 85	kN/m ³	Stahl	77 bis 78,5	kN/m ³
Kupfer	87 bis 89	kN/m ³	Zink	71 bis 72	kN/m ³
Gusseisen	71 bis 72,5	kN/m ³			
Mauerwerk aus künstlichen Steinen (mit Normalmörtel)					
Rohdichteklasse 0,6	8 ¹⁾	kN/m ³	Rohdichteklasse 1,6	16	kN/m ³
Rohdichteklasse 0,8	10 ¹⁾	kN/m ³	Rohdichteklasse 1,8	18	kN/m ³
Rohdichteklasse 1,0	12 ¹⁾	kN/m ³	Rohdichteklasse 2,0	20	kN/m ³
Rohdichteklasse 1,2	14 ¹⁾	kN/m ³	Rohdichteklasse 2,2	22	kN/m ³
Rohdichteklasse 1,4	16 ¹⁾	kN/m ³	Rohdichteklasse 2,4	24	kN/m ³
1) Bei der Verwendung von Leicht- oder Dünnbettmörtel darf die Wichte um 1 kN/m ³ reduziert werden.					
Mörtel und Putze					
Kalk-, Kalkgips- und Gips sandmörtel, d = 20 mm	0,35	kN/m ²	Leichtputz nach DIN 18550-4, d = 20 mm	0,30	kN/m ²
Kalkzementmörtel, d = 20 mm	0,40	kN/m ²	Gipsputz, d = 15 mm	0,18	kN/m ²
Zementmörtel, d = 20 mm	0,42	kN/m ²			

Windzonenkarte und Geschwindigkeitsdrücke

2-6a

Windzonenkarte	Geschwindigkeitsdrücke (q)			
Windzone	Gebäudehöhe	Gebäudehöhe		
		h ≤ 10 m [kN/m ²]	10m bis 18m [kN/m ²]	18m bis 25m [kN/m ²]
1 Binnenland	h ≤ 10 m	0,50	0,65	0,75
	10m bis 18m	0,65	0,80	0,90
2 Küste und Inseln der Ostsee	h ≤ 10 m	0,85	1,00	1,10
	10m bis 18m	0,80	0,95	1,10
3 Küste und Inseln der Ostsee	h ≤ 10 m	1,05	1,20	1,30
	10m bis 18m	0,95	1,15	1,30
4 Küste der Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	h ≤ 10 m	1,25	1,40	1,55
	10m bis 18m	1,40	-	-

Vertikale Wände von Gebäuden mit rechteckigem Grundriss

Bereich	A		B		C		D		E	
h/d	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}
≥ 5	-1,4	-1,7			-0,5	-0,7			-0,5	-0,7
1			-0,8	-1,1			+0,8	+1,0		-0,5
≤ 0,25	-1,2	-1,4			-0,5		+0,7		-0,3	-0,5

e = b oder 2 · h (der kleinere Wert ist maßgebend) b = Abmessung der Wand quer zum Wind h = Wandhöhe

Satteldächer

Dachneigung	Anströmrichtung $\Theta = 0^\circ$								Anströmrichtung $\Theta = 90^\circ$										
	F		G		H		I		J		F		G		H		I		
	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2			-0,6	+0,2	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2			-0,6
	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0			-0,6	-0,6									
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3	-0,3			-0,4	-1,0	-1,5	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2		-0,5
	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2			+0,0	+0,0									
30	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2	-0,2			-0,4	-0,5	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2			-0,5
	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,4	+0,4			+0,0	+0,0									
45	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0			-0,2	-0,3	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2			-0,5
	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,6	+0,6			+0,0	+0,0									
60	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7			-0,2	-0,3	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0			-0,5
	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8			-0,2	-0,2	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0			-0,5

Pultdächer

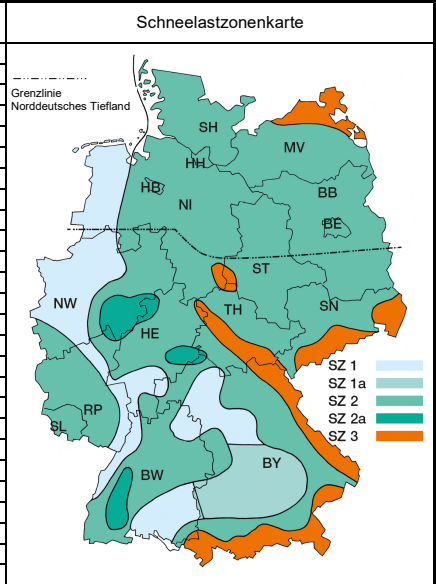
Dachneigung	Anströmrichtung $\Theta = 0^\circ$						Anströmrichtung $\Theta = 180^\circ$						Anströmrichtung $\Theta = 90^\circ$										
	F		G		H		F		G		H		F _{hoch}		F _{tief}		G		H		I		
	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2																	
	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2			-0,5
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3	-0,3																	
	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2	
30	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2	-0,2																	
	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,4	+0,4	-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8												
45	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0																	
	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,6	+0,6	-0,6	-1,3	-0,5	-0,7													
60	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7																	
	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	-0,5	-1,0	-0,5	-0,5													
75	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8																	
	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	-1,0	-0,5	-0,5	-0,5													

Einteilung der Dachflächen

Satteldächer				Pultdächer			
e = b oder 2 · h (der kleinere Wert ist maßgebend)				b = Abmessung quer zum Wind h = Firsthöhe			

Charakteristische Bodenschneelast $S_{k,B}$

Höhe über NHN	SLZ 1 [kN/m ²]	SLZ 1a [kN/m ²]	SLZ 2 [kN/m ²]	SLZ 2a [kN/m ²]	SLZ 3 [kN/m ²]
0	0,650	0,810	0,850	1,060	1,100
50	0,650	0,810	0,850	1,060	1,100
100	0,650	0,810	0,850	1,060	1,100
150	0,650	0,810	0,850	1,060	1,100
200	0,650	0,810	0,850	1,060	1,100
250	0,650	0,810	0,850	1,060	1,100
300	0,650	0,810	0,890	1,113	1,285
350	0,650	0,810	1,044	1,305	1,520
400	0,650	0,810	1,214	1,518	1,779
450	0,738	0,923	1,401	1,751	2,064
500	0,835	1,044	1,604	2,006	2,374
550	0,940	1,175	1,824	2,280	2,709
600	1,053	1,316	2,061	2,576	3,069
650	1,173	1,467	2,314	2,892	3,454
700	1,302	1,627	2,583	3,229	3,865
750	1,438	1,797	2,869	3,587	4,301
800	1,582	1,978	3,172	3,965	4,762
850	1,734	2,168	3,491	4,364	5,248
900	1,894	2,368	3,827	4,783	5,759
950	2,062	2,577	4,179	5,223	6,296
1000	2,238	2,797	4,548	5,684	6,858
1100	2,612	3,266	5,335	6,668	8,057
1200	3,019	3,774	6,188	7,735	9,356
1300	3,457	4,321	7,107	8,884	10,757
1400	3,926	4,908	8,092	10,115	12,258
1500	4,427	5,534	9,144	11,430	13,860



Zone 1: $0,19 + 0,91 \cdot \left(\frac{h+140}{760}\right)^2$	Zone 1a: 1,25 · [Zone 1]	Zone 2: $0,25 + 1,91 \cdot \left(\frac{h+140}{760}\right)^2$	Zone 2a: 1,25 · [Zone 2]	Zone 3: $0,31 + 2,91 \cdot \left(\frac{h+140}{760}\right)^2$
Sockelbetrag: 0,65 kN/m ² (bis 400 m über NHN)	Sockelbetr.: 0,81 kN/m ² (bis 400 m über NHN)	Sockelbetr.: 0,85 kN/m ² (bis 285 m über NHN)	Sockelbetr.: 1,06 kN/m ² (bis 285 m über NHN)	Sockelbetr.: 1,10 kN/m ² (bis 255 m über NHN)

Charakteristische Dachschneelast		Formbeiwerte für Pult- und Satteldächer	
$S_k = \mu \cdot S_{k,B}$ S_k = char. Dachschneelast [kN/m ²] μ = Formbeiwert der Schneelast [kN/m ²] $S_{k,B}$ = char. Bodenschneelast [kN/m ²]		Dachneigung	μ
		≤ 30°	0,80
		35°	0,67
		40°	0,53
		45°	0,40
		50°	0,27
		55°	0,13
≥ 60°	0		

Schneelasten auf Schneefanggitter

$F_s = s_k \cdot b \cdot \sin \alpha$		F_s = Kraft (pro m), die beim Gleiten entsteht s_k = char. Schneelast auf dem Dach b = Abstand des Fanggitters zum First oder nächsten Fanggitter α = Dachneigung
---------------------------------------	--	---

Schneeüberhang an der Traufe

$s_o = \frac{k \cdot (s_k)^2}{\gamma} = \frac{0,4 \cdot (s_k)^2}{3 \text{ kN/m}^3}$		s_o = Schneelast je Meter Trauflänge infolge Schneeüberhang k = Beiwert (0,4 nach EC1-1-3/NA) s_k = char. Schneelast auf dem Dach γ = Wichte des Schnees (3 kN/m ³)
---	--	---

Nachweise der Querschnittstragfähigkeit (Biegung)

3-1a

Einachsige Biegung

$$\frac{M_{y,d}}{W_y} \leq 1$$

Vorbemessung:

$$\text{erf. } W_y = \frac{M_{y,d} [\text{kNm}] \cdot 1000}{f_{m,d} [\text{N/mm}^2]} \quad [\text{cm}^3]$$

$M_{y,d}$ = Bemessungswert des Moments
 W_y = Widerstandsmoment um y-Achse
 $f_{m,d}$ = Bemessungswert der Biegefestigkeit
 k_h = Beiwert für Bauteilabmessung (siehe Tafel 1-1)

Zweiachsige Biegung

$$\frac{M_{y,d}}{W_y} + k_m \cdot \frac{M_{z,d}}{W_z} \leq 1$$

und

$$k_m \cdot \frac{M_{y,d}}{W_y} + \frac{M_{z,d}}{W_z} \leq 1$$

$M_{y/z,d}$ = Bemessungswert des Moments
 $W_{y/z}$ = Widerstandsmoment um y- / z-Achse
 $f_{m,d}$ = Bemessungswert der Biegefestigkeit
 k_h = Beiwert für Bauteilabmessung (siehe Tafel 1-1)
 k_m = 0,7 für Rechteckquerschnitte aus Vollholz, Brettschichtholz, Furnierschichtholz = 1,0 für andere Querschnitte und Holzwerkstoffe

Nachweise der Querschnittstragfähigkeit (Schub)

3-1b

Schub aus Querkraft¹⁾ (für Rechteckquerschnitte)

$$1,5 \cdot \frac{V_d}{A} \leq 1$$

Vorbemessung:

$$\text{erf. } A = \frac{1,5 \cdot V_d [\text{kN}] \cdot 10}{f_{v,d} [\text{N/mm}^2]} \quad [\text{cm}^2]$$

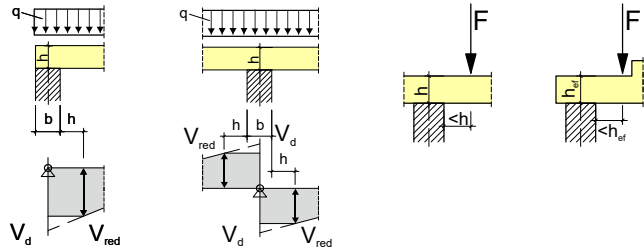
V_d = Bemessungswert der Querkraft
 A = Querschnittsfläche des Trägers
 $f_{v,d}$ = Bemessungswert der Schubfestigkeit (unter Berücksichtigung von k_{cr})

Schub aus Querkraft bei Querdruk¹⁾²⁾³⁾ (für Rechteckquerschnitte)

$$1,5 \cdot \frac{V_{d,\text{red}}}{A} \leq 1$$

$V_{d,\text{red}}$ = Bemessungswert der reduzierten Querkraft
 - Gleichstreckenlast¹⁾
 $V_{\text{red}} = V_d - q \cdot (h + (0,5 \cdot b))$
 - Einzellast³⁾

A = Querschnittsfläche des Trägers
 $f_{v,d}$ = Bemessungswert der Schubfestigkeit (unter Berücksichtigung von k_{cr})



- Der Rissfaktor k_{cr} wird bereits bei den Festigkeiten (Tabelle 1-1) berücksichtigt; daher darf die volle Bauteilbreite angesetzt werden.
- Gilt für Biegeträger mit Lastangriff am oberen Trägerrand und Auflagerung am unteren Trägerrand (ohne Ausklinkungen und Durchbrüche im Auflagerbereich). Bei Trägern mit geneigtem Rand kann die Bauteilhöhe über der Symmetrieachse des Auflagers angesetzt werden.
- Einzellasten, die an der Oberseite des Biegeträgers innerhalb eines Abstandes h oder h_{eff} wirken, dürfen unberücksichtigt bleiben.

Schub aus Querkraft – Doppelbiegung (für Rechteckquerschnitte)

$$\left(\frac{1,5 \cdot V_{y,d}}{A} \right)^2 + \left(\frac{1,5 \cdot V_{z,d}}{A} \right)^2 \leq 1$$

$V_{y,d}$ = Bemessungswert der Querkraft in x-Richtung
 $V_{z,d}$ = Bemessungswert der Querkraft in z-Richtung
 A = Querschnittsfläche des Trägers
 $f_{v,d}$ = Bemessungswert der Schubfestigkeit (unter Berücksichtigung von k_{cr})

Nachweise der Querschnittstragfähigkeit (Druck und Zug)

3-2

Zug in Faserrichtung

$$\frac{F_{1,0,d}}{A_n} \leq 1$$

$$k_h \cdot f_{1,0,d}$$

$F_{1,0,d}$ = maßgebende Zugkraft
 A_n = Querschnittsfläche (Netto)
 k_h = Beiwert für Bauteilabmessung (siehe Tafel 1-1)
 $f_{1,0,d}$ = Bemessungswert der Zugfestigkeit in Faserrichtung

Druck in Faserrichtung

$$\frac{F_{c,0,d}}{A} \leq 1$$

$$f_{c,0,d}$$

$F_{c,0,d}$ = maßgebende Druckkraft
 A = Druckfläche
 $f_{c,0,d}$ = Bemessungswert der Druckfestigkeit in Faserrichtung

Druck rechtwinklig zur Faser

$$\frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \leq 1$$

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

$F_{c,90,d}$ = maßgebende Druckkraft rechtwinklig zur Faser
 A_{ef} = wirksame Querdruckfläche (in Faserrichtung um bis zu 2 · 30 mm verlängert (bei $l_1 \geq 60$ mm))
 $f_{c,90,d}$ = Bemessungswert der Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung
 $k_{c,90}$ = Querdruckbeiwert

		Querdruckbeiwert $k_{c,90}$			
Baustoff	Auflagerdruck		Schwellendruck		
	$l_1 < 2h$	$l_1 \geq 2h$	$l_1 < 2h$	$l_1 \geq 2h$	
NH	1,0	1,50	1,0	1,25	
BSH	1,0	1,75	1,0	1,50	

Druck unter einem Winkel

$$\frac{F_{c,\alpha,d}}{A_{ef}} \leq 1$$

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

$F_{c,\alpha,d}$ = maßgebende Druckkraft
 A_{ef} = wirksame Querdruckfläche (in Faserrichtung um bis zu 2 · 30 mm verlängert)
 $f_{c,\alpha,d}$ = Bemessungswert der Druckfestigkeit unter einem Winkel α

Druckfestigkeit $f_{c,\alpha,k}$

α	Schwellendruck						Auflagerdruck					
	C24	C30	GL24h	GL24c	GL28c	GL30c	C24	C30	GL24h	GL24c	GL28c	GL30c
0	21,00	24,00	24,00	21,50	24,00	24,50	21,00	24,00	24,00	21,50	24,00	24,50
10	17,91	20,27	20,64	18,81	20,64	21,00	18,44	20,90	21,14	19,23	21,14	21,52
20	12,58	14,00	14,71	13,84	14,71	14,87	13,65	15,23	15,74	14,75	15,74	15,93
30	8,64	9,49	10,21	9,85	10,21	10,28	9,77	10,76	11,31	10,87	11,31	11,40
40	6,24	6,81	7,43	7,27	7,43	7,46	7,24	7,91	8,41	8,21	8,41	8,45
50	4,82	5,23	5,76	5,69	5,76	5,77	5,68	6,17	6,61	6,52	6,61	6,62
60	3,97	4,30	4,75	4,73	4,75	4,76	4,72	5,11	5,50	5,46	5,50	5,51
70	3,47	3,75	4,16	4,15	4,16	4,16	4,15	4,49	4,84	4,82	4,84	4,84
80	3,21	3,46	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	4,15	4,49	4,48	4,49	4,49
90 ¹⁾	3,13	3,38	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	4,05	4,38	4,38	4,38	4,38

1) Diese Werte entsprechen $f_{c,90,k} \cdot k_{c,90}$

Nachweise der Stabilität von Bauteilen

3-3

Biegedrillknicken von Biegeträgern

$$\frac{M_d}{W} \cdot \frac{1}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

M_d = Bemessungswert des Biegemomentes
 W = Widerstandsmoment des Querschnittes
 $f_{m,d}$ = Bemessungswert der Biegefestigkeit
 k_{crit} = Kippbeiwert

Kippbeiwerte k_{crit}

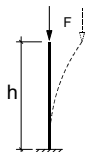
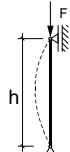
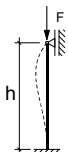
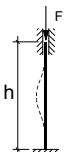
$\frac{l_{cr} \cdot h}{b^2}$	C24	C30	GL24		GL28	GL30
			h	c		
140	0,989	0,947	1,000	1,000	1,000	1,000
160	0,950	0,904	1,000	1,000	1,000	1,000
180	0,913	0,865	1,000	1,000	0,993	0,978
200	0,877	0,827	0,995	0,988	0,962	0,947
220	0,844	0,791	0,968	0,960	0,933	0,917
240	0,812	0,757	0,941	0,933	0,905	0,888
260	0,782	0,724	0,916	0,907	0,878	0,861
280	0,752	0,693	0,892	0,883	0,852	0,834
300	0,724	0,662	0,868	0,859	0,828	0,809
320	0,697	0,633	0,846	0,836	0,804	0,784
340	0,670	0,604	0,824	0,814	0,780	0,761
360	0,644	0,577	0,802	0,792	0,758	0,737
380	0,619	0,550	0,781	0,771	0,736	0,715
400	0,595	0,524	0,761	0,750	0,714	0,693
420	0,571	0,499	0,742	0,730	0,693	0,671
440	0,548	0,476	0,722	0,711	0,673	0,651
460	0,525	0,455	0,703	0,692	0,653	0,630
480	0,503	0,436	0,685	0,673	0,634	0,610
500	0,483	0,419	0,667	0,655	0,614	0,591
520	0,464	0,403	0,649	0,637	0,596	0,571
540	0,447	0,388	0,632	0,619	0,577	0,552
560	0,431	0,374	0,615	0,602	0,559	0,534
580	0,416	0,361	0,598	0,585	0,542	0,516
600	0,403	0,349	0,582	0,569	0,524	0,499
620	0,390	0,338	0,566	0,552	0,507	0,483
640	0,377	0,327	0,550	0,536	0,492	0,468
660	0,366	0,317	0,534	0,520	0,477	0,453
680	0,355	0,308	0,519	0,505	0,463	0,440
700	0,345	0,299	0,504	0,490	0,449	0,427
720	0,335	0,291	0,490	0,477	0,437	0,416
740	0,326	0,283	0,477	0,464	0,425	0,404
760	0,318	0,276	0,464	0,452	0,414	0,394
780	0,310	0,269	0,452	0,440	0,403	0,384
800	0,302	0,262	0,441	0,429	0,393	0,374

Kippbeiwerte k_{crit} für Brettschichtholz GL24h

$\frac{l_{cr} \cdot h}{b^2}$	+ 0	+ 5	+ 10	+ 15	+ 20	+ 25	+ 30	+ 35	+ 40	+ 45
200	0,995	0,988	0,981	0,974	0,968	0,961	0,954	0,948	0,941	0,935
250	0,929	0,922	0,916	0,910	0,904	0,898	0,892	0,886	0,880	0,874
300	0,868	0,863	0,857	0,851	0,846	0,840	0,834	0,829	0,824	0,818
350	0,813	0,807	0,802	0,797	0,792	0,787	0,781	0,776	0,771	0,766
400	0,761	0,756	0,751	0,746	0,742	0,737	0,732	0,727	0,722	0,717
450	0,713	0,708	0,703	0,699	0,694	0,690	0,685	0,680	0,676	0,671
500	0,667	0,662	0,658	0,654	0,649	0,645	0,641	0,636	0,632	0,628
550	0,623	0,619	0,615	0,611	0,606	0,602	0,598	0,594	0,590	0,586
600	0,582	0,578	0,574	0,570	0,566	0,562	0,558	0,554	0,550	0,546
650	0,542	0,538	0,534	0,530	0,526	0,522	0,519	0,515	0,511	0,507
700	0,504	0,500	0,497	0,493	0,490	0,486	0,483	0,480	0,477	0,473
750	0,470	0,467	0,464	0,461	0,458	0,455	0,452	0,449	0,446	0,444
800	0,441	0,438	0,435	0,433	0,430	0,427	0,425	0,422	0,420	0,417
850	0,415	0,412	0,410	0,408	0,405	0,403	0,401	0,398	0,396	0,394

Biegeknicen von Druckstäben

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

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

Knickbeiwerte k_c

λ	C24		C30		GL24		GL28	GL30
					h	c	c	c
50	0,796	0,793	0,897	0,906	0,910	0,912		
55	0,739	0,734	0,857	0,870	0,876	0,879		
60	0,676	0,671	0,803	0,823	0,830	0,835		
65	0,614	0,608	0,740	0,763	0,773	0,780		
70	0,554	0,548	0,672	0,698	0,709	0,717		
75	0,499	0,494	0,606	0,633	0,644	0,652		
80	0,450	0,445	0,545	0,571	0,582	0,590		
85	0,406	0,402	0,491	0,516	0,526	0,534		
90	0,368	0,364	0,443	0,466	0,476	0,484		
95	0,335	0,331	0,402	0,423	0,432	0,439		
100	0,305	0,302	0,365	0,385	0,394	0,400		
105	0,279	0,276	0,334	0,352	0,359	0,365		
110	0,256	0,253	0,305	0,322	0,329	0,335		
115	0,236	0,233	0,281	0,296	0,303	0,308		
120	0,218	0,216	0,259	0,273	0,279	0,284		
125	0,202	0,200	0,239	0,253	0,258	0,263		
130	0,188	0,185	0,222	0,234	0,240	0,244		
135	0,175	0,173	0,206	0,218	0,223	0,227		
140	0,163	0,161	0,192	0,203	0,208	0,211		
145	0,153	0,151	0,180	0,190	0,194	0,197		
150	0,143	0,141	0,168	0,178	0,182	0,185		
155	0,134	0,133	0,158	0,167	0,170	0,173		
160	0,126	0,125	0,148	0,157	0,160	0,163		
165	0,119	0,118	0,140	0,147	0,151	0,153		
170	0,112	0,111	0,132	0,139	0,142	0,145		
175	0,106	0,105	0,124	0,131	0,134	0,137		
180	0,101	0,099	0,118	0,124	0,127	0,129		
185	0,096	0,094	0,112	0,118	0,121	0,123		
190	0,091	0,090	0,106	0,112	0,114	0,116		
195	0,086	0,085	0,101	0,106	0,109	0,111		
200	0,082	0,081	0,096	0,101	0,104	0,105		

Nachweise der Stabilität von Bauteilen

3-4b

Biegeknicken von Druckstäben

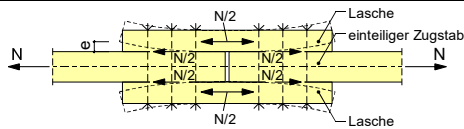
Knickbeiwerte k_c für Nadelholz C24

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	0,971	0,966	0,962	0,957	0,953	
30	0,948	0,942	0,937	0,932	0,926	0,920	0,914	0,908	0,901	0,894	
40	0,887	0,879	0,871	0,863	0,855	0,846	0,836	0,827	0,817	0,807	
50	0,796	0,785	0,774	0,762	0,751	0,739	0,726	0,714	0,702	0,689	
60	0,676	0,664	0,651	0,638	0,626	0,614	0,601	0,589	0,577	0,565	
70	0,554	0,542	0,531	0,520	0,509	0,499	0,488	0,478	0,469	0,459	
80	0,450	0,440	0,432	0,423	0,414	0,406	0,398	0,390	0,383	0,375	
90	0,368	0,361	0,354	0,347	0,341	0,335	0,328	0,322	0,316	0,311	
100	0,305	0,300	0,294	0,289	0,284	0,279	0,274	0,270	0,265	0,261	
110	0,256	0,252	0,248	0,244	0,240	0,236	0,232	0,229	0,225	0,222	
120	0,218	0,215	0,211	0,208	0,205	0,202	0,199	0,196	0,193	0,190	
130	0,188	0,185	0,182	0,180	0,177	0,175	0,172	0,170	0,168	0,165	
140	0,163	0,161	0,159	0,157	0,155	0,153	0,151	0,149	0,147	0,145	
150	0,143	0,141	0,139	0,138	0,136	0,134	0,133	0,131	0,129	0,128	
160	0,126	0,125	0,123	0,122	0,121	0,119	0,118	0,116	0,115	0,114	
170	0,112	0,111	0,110	0,109	0,108	0,106	0,105	0,104	0,103	0,102	
180	0,101	0,100	0,099	0,098	0,097	0,096	0,095	0,094	0,093	0,092	
190	0,091	0,090	0,089	0,088	0,087	0,086	0,085	0,085	0,084	0,083	
200	0,082	0,081	0,081	0,080	0,079	0,078	0,078	0,077	0,076	0,075	

Symmetrische Zugverbindungen – Vereinfachter Nachweis

3-5

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

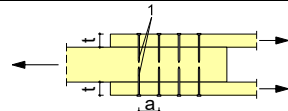


Holzschrauben, Bolzen, Passbolzen, nicht vorgebohrte Nägel

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

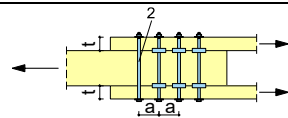
Stabdübel und vorgebohrte Nägel mit Maßnahmen zur Verhinderung der Verkrümmung¹⁾

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



Dübel besonderer Bauart mit Maßnahmen zur Verhinderung der Verkrümmung²⁾

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



Nachweis der ausziehfesten Verbindungsmittel für eine Zugkraft von:

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

F_d Normalkraft in der einseitig beanspruchten Lasche

t Dicke der Lasche

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

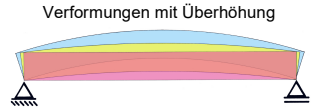
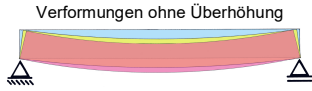
a Abstand der auf Herausziehen beanspruchten Verbindungsmittel von der nächsten Verbindungsmittelreihe

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

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

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

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



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

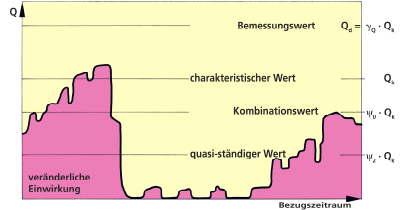
Zeitlich veränderliche Einwirkungen

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 1-10.

Zeitabhängige Verformungen

Kriechen des Holzes muss im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt werden.

Kriechen wird durch den Verformungsbeiwert k_{def} berücksichtigt (siehe Tafel 1-5).

Erforderliches Flächenmoment bei Durchbiegungsbeschränkung

Nadelholz C24 und C30,
Brettschichtholz GL 24h und GL 28c

Durchbiegungsbeschränkung	Belastungsfall															
	Faktor a				Faktor a				Faktor a				Faktor a			
	C24	C30	GL 24h	GL 28c	C24	C30	GL 24h	GL 28c	C24	C30	GL 24h	GL 28c	C24	C30	GL 24h	GL 28c
$l/200^{(1)}$	189	174	181	167	152	139	145	133	227	208	217	200	303	278	290	267
$l/250^{(1)}$	237	217	226	208	189	174	181	167	284	260	272	250	379	347	362	333
$l/300^{(1)}$	284	260	272	250	227	208	217	200	341	313	326	300	455	417	435	400

1) Bei Kragarmen dürfen die Durchbiegungen doppelt so groß, die Grenzwerte also halbiert werden (z. B. $l/150$ statt $l/300$). Dies wurde bei den Faktoren a bereits berücksichtigt.

Erf. I [cm⁴] = a · max. M_k [kNm] · l [m]

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

Bemessungssituationen¹⁾

<p>Anfangsverformung (charakteristische Kombination)</p> $W_{inst} = W_{G,inst} + W_{Q,1,inst} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot W_{Q,i,inst}$	<p>Endverformung (charakteristische Kombination)</p> $W_{fin} = W_{G,inst} \cdot (1 + k_{def}) + W_{Q,1,inst} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) + \sum_{i>1} W_{Q,i,inst} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})$ <p>Endverformung (quasi-ständige Kombination)</p> $W_{net,fin} = \left(W_{G,inst} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot W_{Q,i,inst} \right) \cdot (1 + k_{def})$
---	--

Nachweise und Grenzwerte für Durchbiegungen¹⁾

<p>Anfangsverformung</p> <p>Elastische Durchbiegung (charakteristische Kombination)</p> $W_{inst} \leq l/300 \text{ bis } l/500 \text{ (Empfehlung } l/300)^{2)}$ $W_{inst} = W_{G,inst} + W_{Q,1,inst} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot W_{Q,i,inst} \leq l/300$	<p>Vereinfachte Nachweise für Einfeldträger³⁾</p> $\text{Erf. } I_y^{(3)} = 35,5 \cdot (g_k + q_k) \cdot l^3$
<p>Endverformung</p> <p>Charakteristische Kombination</p> $W_{fin} \leq l/150 \text{ bis } l/300 \text{ (Empfehlung } l/200)^{2)}$ $W_{G,inst} \cdot (1 + k_{def}) + W_{Q,inst} \cdot (1 + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) \leq l/200$ <p>Quasi ständige Kombination</p> $W_{net,fin} = W_{fin} - w_0 \leq l/250 \text{ bis } l/350 \text{ (Empfehlung } l/300)^{2)}$ $\left(W_{G,inst} + \psi_{2,i} \cdot W_{Q,inst} \right) \cdot (1 + k_{def}) - w_0 \leq l/300$	$\text{Erf. } I_y^{(5)} = 23,63 \cdot (1,6 g_k + 1,18 q_k) \cdot l^3 \quad (\text{Deckenbauteil})$ $\text{Erf. } I_y^{(5)} = 23,63 \cdot (1,6 g_k) \cdot l^3 \quad (\text{Dachbauteil}^{4)})$ $\text{Erf. } I_y^{(5)} = 35,5 \cdot (1,6 g_k + 0,48 q_k) \cdot l^3 \quad (\text{Deckenbauteil})$ $\text{Erf. } I_y^{(5)} = 35,5 \cdot (1,6 g_k) \cdot l^3 \quad (\text{Dachbauteil}^{4)})$

Schwingungsnachweis

<p>Eigenfrequenz beim Einfeldträger</p> $f = \frac{\pi}{200 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{g_k}} \geq f_{\text{grenz}} \text{ [Hz]} \quad \text{bzw.} \quad f = \frac{5}{\sqrt{0,8 \cdot x \cdot w}} \text{ [Hz]}$	
<p>Innerhalb einer Nutzungseinheit</p> <p>Nachweis Eigenfrequenz $\geq 6 \text{ Hz}$: $W_{G,inst} \leq 8,7 \text{ mm}$</p> <p>Durchbiegungsbeschränkung Mannlast: $w_F \leq 1,5 \text{ mm}$</p>	$\text{Erf. } I_y^{(3)} = 13,61 \cdot (g_k) \cdot l^4$ $\text{Erf. } I_y^{(3(5))} = 126 \cdot l^3 \quad (\text{in der Regel bemessungsrelevant})$
<p>Zwischen fremden Nutzungseinheiten</p> <p>Eigenfrequenz $\geq 8 \text{ Hz}$: $W_{G,inst} \leq 4,9 \text{ mm}$</p> <p>Durchbiegungsbeschränkung Mannlast: $w_F \leq 0,75 \text{ mm}$</p>	$\text{Erf. } I_y^{(3)} = 24,16 \cdot (g_k) \cdot l^4$ $\text{Erf. } I_y^{(3)} = 252 \cdot l^3 \quad (\text{in der Regel bemessungsrelevant})$

- 1) Für die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit sind die charakteristischen Werte der Einwirkungen zu verwenden (γ_G und $\gamma_Q = 1$).
- 2) Bei Kragarmen dürfen die Durchbiegungen doppelt so groß, die Grenzwerte also halbiert werden (z. B. $l/150$ statt $l/300$).
- 3) Voraussetzungen: Einfeldträger aus NH C24 (E-Modul: 11.000 N/mm²) mit Gleichstreckenlast, Decke mit Nassestrich bzw. schwerer Schüttung ($\geq 60 \text{ kg/m}^2$), $k_{def} = 0,6$, $\psi_2 = 0,3$, g_k = charakteristische Eigenlast [kN/m], q_k = charakteristische Nutzlast [kN/m], l = Spannweite [m]
Bei abweichendem E-Modul Gleichung mit dem Faktor $(11.000/E\text{-Modul}_{verm})$ multiplizieren.
- 4) Bei Geländehöhen des Bauwerkstandortes bis max. 1000 m über NHN dürfen bei Dachbauteilen die Nutzlasten Wind und Schnee entfallen ($\psi_2 = 0$)
- 5) Bei gleichen Voraussetzungen wie vorgenannt, jedoch einem Zweifeldträger mit identischen Stützweiten, beträgt der Faktor 91 statt 126.



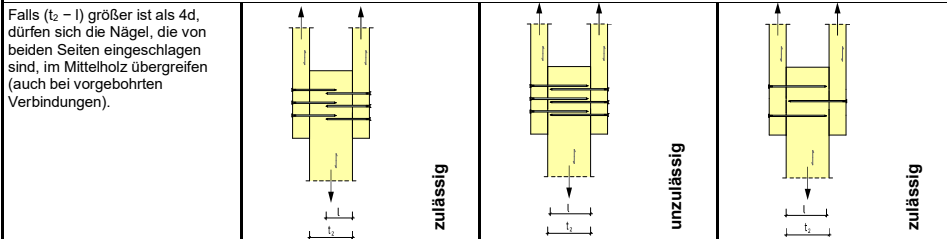
Charakteristische Nageltragfähigkeit pro Scherfuge (vereinfachter Nachweis) Holz-Holz-Verbindungen

4-1

Nadelholz C24 ¹⁾ , Rohdichte $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$, Stahlzugfestigkeit $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$					nicht vorgebohrt			vorgebohrt
		Mindeinschlagtiefe		Mindestholzdicke	Mindestholzdicke Spaltgefahr ⁵⁾		charakteristische Tragfähigkeit	charakteristische Tragfähigkeit
\emptyset	Nagellänge	$t_{\text{req}}^{3)}$	$\geq 2)$	$t_{\text{req}}^{4)}$	$a_4 < 10d$	$a_4 \geq 10d$ oder Kiefernholz	$F_{v,Rk}$	$F_{v,Rk}$
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[N]
2,0	30, 40, 45	18	8	18 ⁶⁾	28	14 ⁶⁾	320	350
2,2	30, 40, 50	20	9	20 ⁶⁾	31	16 ⁶⁾	375	415
2,4	30, 40, 50	22	10	22	34	17 ⁶⁾	430	485
2,7	40, 50, 60	24	11	24	38	19 ⁶⁾	525	600
3,0	50, 60, 70, 80	27	12	27	42	21 ⁶⁾	625	725
3,4	60, 70, 80, 90	31	14	31	48	24	765	905
3,8	70, 80, 90, 100	34	16	34	53	27	920	1100
4,2	90, 100, 110	38	17	38	59	29	1090	1320
4,6	90, 100, 120	41	19	41	64	32	1260	1550
5,0	100, 120, 140	45	20	45	70	35	1450	1800
5,5	140	50	22	50	77	39	1690	2130
6,0	150, 160, 180	54	24	54	84	42	1950	2480
7,0	200	63	28	63	... ⁷⁾	... ⁷⁾	... ⁷⁾	3250
8,0	280	72	32	72	... ⁷⁾	... ⁷⁾	... ⁷⁾	4120

Umrechnungsfaktoren der Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ für abweichende Holzarten				
C30: 1,042	GL24h: 1,048	GL24c: 1,021	GL28c: 1,056	GL30c: 1,056

- Werte t_{req} und $F_{v,Rk}$ sind stets gerundet.
- Für abweichende Festigkeitsklassen ($\rho_k > 350 \text{ kg/m}^3$) muss $F_{v,Rk}$ mit $\sqrt{\frac{\rho_k}{350}}$ multipliziert werden.
 - Scherfugen mit Einschlagtiefen $< 4d$ dürfen nicht in Rechnung gestellt werden.
 - Bei Scherfugen mit Einschlagtiefen von $4d \leq t < 9d$ ist $F_{v,Rk}$ im Verhältnis t/t_{req} abzumindern.
 - Bei Holzstärken $t < t_{\text{req}}$ ist $F_{v,Rk}$ im Verhältnis t/t_{req} abzumindern.
 - Bei nicht vorgebohrten Nägeln ist die geforderte Mindestholzdicke wegen der größeren Spaltgefahr für das Holz unbedingt einzuhalten. Um die geforderten Dicken unterschreiten zu können, muss entweder Kiefernholz verwendet werden oder es sind größere Abstände senkrecht zur Faser zum beanspruchten bzw. unbeanspruchten Rand einzuhalten ($\geq 10d$).
 - Für Nadelholz wird eine Mindestholzdicke von 22 mm empfohlen (ehemalige Forderung der DIN EN 336: 2003).
 - Bei Nageldurchmessern $> 6 \text{ mm}$ sollte das Holz stets vorgebohrt werden.



Bemessungswert: $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} \cdot k_{\text{mod}} / \gamma_M$ ($\gamma_{M, \text{Stahl}} = 1,1$)

Charakteristische Nageltragfähigkeit pro Scherfuge (vereinfachter Nachweis) Holz-Holzwerkstoff/Gipswerkstoff-Verbindungen

4-2

Nadelholz C24¹⁾, Rohdichte $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$,

Sperrholz, Rohdichte $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$

Stahlzugfestigkeit $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$

Ø	Nagel- länge	Mindestein- schlagtiefe	OSB, kunstharzgeb. Spanplatten		Sperrholz		Gipsplatten		Gipsfaserplatten (Fermacell)		Harte Holzfaserplatten	
			treq	Dicke	F _{v,Rk}	Dicke	F _{v,Rk}	Dicke	F _{v,Rk}	Dicke	F _{v,Rk}	Dicke
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]
2,0	30, 40, 45	18	12	324	9	214	9,5	122	10	193	4	115
			13	353	12	285	12,5	176	12,5	267	6	195
			15	383	15	333	15	226	15	325	8	284
2,2	40, 50	20	12	339	9	227	9,5	128	10	202	4	123
			13	368	12	303	12,5	185	12,5	279	6	208
			15	428	15	379	15	237	15	363	8	302
2,4	40, 50	22	12	352	9	241	9,5	133	10	210	4	130
			13	383	12	321	12,5	193	12,5	290	6	220
			15	445	15	401	15	247	15	378	8	320
2,7	40, 50, 60	24	12	371	9	260	9,5	141	10	221	4	140
			13	404	12	346	12,5	205	12,5	306	6	237
			15	469	15	433	15	262	15	398	8	345
3,0	50, 60, 70, 80	27	12	389	9	278	9,5	149	10	232	4	150
			13	424	12	371	12,5	216	12,5	321	6	254
			15	492	15	464	15	276	15	418	8	370
3,4	60, 70, 80, 90	31	12	412	9	302	9,5	159	10	245	4	163
			13	448	12	402	12,5	230	12,5	339	6	276
			15	521	15	503	15	294	15	442	8	401
3,8	70, 80, 90, 100	34	12	433	9	324	9,5	168	10	258	4	175
			13	471	12	433	12,5	243	12,5	357	6	297
			15	548	15	541	15	311	15	464	8	431
4,2	90, 100, 110	38	12	453	9	346	9,5	176	10	270	4	187
			13	493	12	462	12,5	256	12,5	373	6	316
			15	573	15	577	15	327	15	486	8	460

Werte t_{req} sind stets gerundet.

1) Für abweichende Festigkeitsklassen ($\rho_k > 350 \text{ kg/m}^3$) muss $F_{v,Rk}$ mit $\sqrt{\frac{\rho_k}{350}}$ multipliziert werden.

2) Bei Holz-Holzwerkstoffverbindungen mit unterschiedlichen Modifikationsbeiwerten wird ein gemittelter Beiwert bestimmt: $\sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}}$

Bemessungswert: $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}^2}$, $\gamma_M, \text{Stahl} = 1,1$)

Charakteristische Klammertragfähigkeit pro Scherfuge (vereinfachter Nachweis)

4-3

Nadelholz C24¹⁾, Rohdichte $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$,
 Sperrholz, Rohdichte $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$
 Stahlzugfestigkeit $f_{u,k} = 800 \text{ N/mm}^2$

Ø	Stufung: 5 mm 10 mm	Mindesteinschlagtiefe ²⁾	Nadelholz C24, Brettschichtholz GL 24c		OSB, kunstharzgebund. Spanplatten		Sperrholz		Gipsplatten		Zementgeb. Spanplatten	
	Länge		f_{req}	Dicke	$F_{v,Rk}^{4)}$	Dicke	$F_{v,Rk}^{4)}$	Dicke	$F_{v,Rk}^{4)}$	Dicke	$F_{v,Rk}^{4)}$	Dicke
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]
1,53	35 bis 75	22	$\geq 14^{3)}$	408	12	510	9	357	9,5	212	$\geq 6,1$	580
					15	516	12	425	12,5	307		
					22	526	15	425	15	392		
1,80	40 bis 75	26	$\geq 17^{3)}$	551	12	635	9	410	9,5	237	$\geq 7,2$	773
					15	675	12	547	12,5	344		
					22	688	15	574	15	439		
2,00	40 bis 75 80 bis 120	28	$\geq 18^{3)}$	669	12	681	9	448	9,5	255	$\geq 8,0$	933
					15	803	12	598	12,5	370		
					22	818	15	697	15	473		
2,10	40 bis 75 80 bis 120	30	$\geq 20^{3)}$	732	12	702	9	467	9,5	264	$\geq 8,4$	1017
					15	870	12	623	12,5	383		
					22	887	15	763	15	490		

Werte f_{req} und $F_{v,Rk}$ sind stets gerundet.

1) Für abweichende Festigkeitsklassen und/ oder Stahlsorten muss $F_{v,Rk}$ mit $\sqrt{\frac{\rho_k}{350} \cdot \frac{f_{u,k}}{800}}$ multipliziert werden.

2) Scherfugen mit Einschlagtiefen $< 14d$ dürfen nicht in Rechnung gestellt werden.

3) Für Nadelholz wird eine Mindestholzdicke von 22 mm empfohlen (ehemalige Forderung der DIN EN 336:2003).

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).

5) Bei Holz-Holzwerkstoffverbindungen mit unterschiedlichen Modifikationsbeiwerten wird ein gemittelter Beiwert bestimmt: $\sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}}$

Bemessungswert: $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}}$, $\gamma_M, \text{Stahl} = 1,1$)

Charakteristische Schraubentragfähigkeit pro Scherfuge (vereinfachter Nachweis)

4-4

Nadelholz C24 (Rohdichte $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$)¹⁾, Stahlfestigkeit $f_{u,k} = 400 \text{ N/mm}^2$ ¹⁾

Schrauben $d \leq 6 \text{ mm}$
(es gelten die Bestimmungen für Nägel $d \leq 6 \text{ mm}$ sinngemäß)

Durchmesser \varnothing [mm]	Mindesteinschraubtiefe $t_{\text{req}}^{3)}$ $\geq 2)$ [mm]		Mindestholzdicke $t_{\text{req}}^{4)}$ [mm]	nicht vorgebohrt			vorgebohrt	
				Mindestholzdicke Spaltgefahr ⁵⁾				
				$a_4 < 10d$	$a_4 \geq 10d$ oder Kiefernholz	charakteristische Tragfähigkeit	charakteristische Tragfähigkeit	
			t_{req} [mm]	t_{req} [mm]	$F_{v,Rk}$ [N]	$F_{v,Rk}$ [N]		
4,0	36	16	36	56	28	578	697	
5,0	45	20	45	70	35	835	1036	
6,0	54	24	54	84	42	1128	1431	

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

Winkel [°]	Mindestholzdicke ^{1),4)}				Mindestholzdicke ^{1),4)}			
	Seitenholz $t_{1,\text{req}}$ [mm]	Seitenholz $t_{2,\text{req}}$ [mm]	Mittelholz $t_{2,\text{req}}$ [mm]	$F_{v,Rk}$ [N]	Seitenholz $t_{1,\text{req}}$ [mm]	Seitenholz $t_{2,\text{req}}$ [mm]	Mittelholz $t_{2,\text{req}}$ [mm]	$F_{v,Rk}$ [N]
	d = 8 mm				d = 10 mm			
0	31	31	26	2377	38	38	32	3513
15	32	31	26	2358	39	38	31	3484
30	33	31	25	2310	41	37	30	3408
45	35	31	24	2248	43	37	29	3312
60	37	30	24	2192	46	36	29	3224
75	39	30	23	2153	47	36	28	3163
90	39	30	23	2139	48	36	28	3142
	d = 12 mm				d = 16 mm			
0	44	44	37	4823	57	57	47	7908
15	45	44	36	4781	58	57	47	7831
30	48	44	35	4671	62	56	46	7632
45	51	43	34	4532	66	55	44	7383
60	54	43	33	4405	71	55	43	7156
75	56	42	33	4318	74	54	42	7003
90	57	42	33	4288	75	54	41	6950

Werte t_{req} und $F_{v,Rk}$ 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 $F_{v,Rk}$ mit

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

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

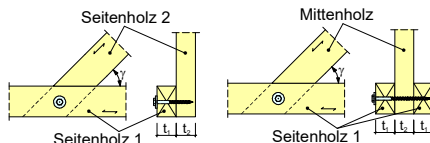
3) Bei Scherfugen mit Einschraubtiefen von $4d \leq t < 9d$ ist $F_{v,Rk}$ im Verhältnis t/t_{req} abzumindern

4) Bei Holzdicken $t < t_{\text{req}}$ ist $F_{v,Rk}$ 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 ($\geq 10d$).

Einschnittige Verbindung

Zweischchnittige Verbindung



Bemessungswert: $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} \cdot k_{\text{mod}} / \gamma_M$ ($\gamma_{M, \text{Stahl}} = 1,1$)

Charakteristische Stabdübel-, Bolzen³⁾ und Passbolzentragfähigkeit³⁾ pro Scherfuge (vereinfachter Nachweis)

4-5

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

Winkel [°]	Mindestholzdicke ²⁾				Mindestholzdicke ²⁾			
	Seitenholz $t_{1,req}$ [mm]	Seitenholz $t_{2,req}$ [mm]	Mittelholz $t_{2,req}$ [mm]	$F_{v,Rk}$ ³⁾ [N]	Seitenholz $t_{1,req}$ [mm]	Seitenholz $t_{2,req}$ [mm]	Mittelholz $t_{2,req}$ [mm]	$F_{v,Rk}$ ³⁾ [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	4713	59	59	49	6470
15	52	50	42	4674	61	59	49	6414
30	54	50	41	4572	64	58	48	6266
45	58	49	40	4443	68	58	46	6080
60	61	49	39	4325	72	57	45	5910
75	64	49	38	4244	75	57	44	5794
90	64	48	38	4215	76	57	44	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

Umrechnungsfaktoren der Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ für abweichende Holzarten

C30: 1,042	GL24h: 1,048	GL24c: 1,021	GL28c: 1,056	GL30c: 1,056
------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Umrechnungsfaktoren $F_{v,Rk}$ für abweichende Stahlgüten

Stabdübel:	S 275: 1,093	S 355: 1,190		
Bolzen/Passbolzen ³⁾ :	S 3.6: 0,913	S 4.6: 1,054	S 5.6: 1,179	S 8.8: 1,491

Werte t_{req} und $F_{v,Rk}$ sind stets gerundet.

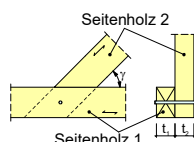
1) Für abweichende Festigkeitsklassen ($\rho_k > 350 \text{ kg/m}^3$) sowie Stahlsorten ($f_{u,k} > 360 \text{ N/mm}^2$) muss $F_{v,Rk}$ mit

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

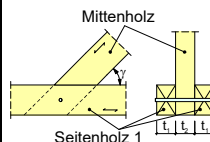
2) Bei Holzicken $t < t_{req}$ ist $F_{v,Rk}$ im Verhältnis t/t_{req} abzumindern.

3) Durch den Einhängeneffekt darf die Tragfähigkeit von Bolzen und Passbolzen stets um 25% erhöht werden.

Einschnittige Verbindung



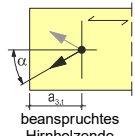
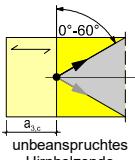
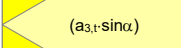
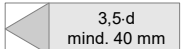
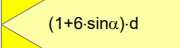
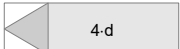
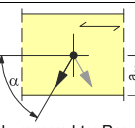
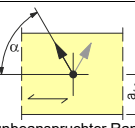
Zweischnittige Verbindung



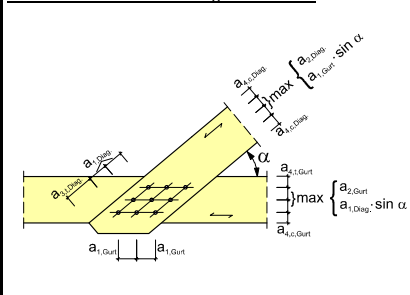
Bemessungswert: $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($\gamma_{M, \text{Stahl}} = 1,1$)

Mindestabstände von stiftförmigen Verbindungsmitteln (Achismaße)

4-6

		Stabdübel und Passbolzen	Bolzen und Gewindestangen	Nägel und Schrauben nicht vorgebohrt $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$		Klammern
a ₁	in Faserrichtung	$(3+2 \cdot \cos\alpha) \cdot d$	$(4+\cos\alpha) \cdot d$	$d < 5 \text{ mm}$ $(5+5 \cdot \cos\alpha) \cdot d$ $d \geq 5 \text{ mm}$ $(5+7 \cdot \cos\alpha) \cdot d$	$(4+\cos\alpha) \cdot d$	$\theta \geq 30^\circ$ $(10+5 \cdot \cos\alpha) \cdot d$ $\theta < 30^\circ$ $(15+5 \cdot \cos\alpha) \cdot d$
	rechterwinklig zur Faserrichtung	3 · d	4 · d	5 · d	$(3+\sin\alpha) \cdot d$	15 · d
a _{3,t}	 beanspruchtes Hirnholzende	7 · d mind. 80 mm	7 · d mind. 80 mm	$(10+5 \cdot \cos\alpha) \cdot d$	$(7+5 \cdot \cos\alpha) \cdot d$	$(15+5 \cdot \cos\alpha) \cdot d$
a _{3,c}	 unbeanspruchtes Hirnholzende	 $(a_{3,t} \cdot \sin\alpha)$  3,5 · d mind. 40 mm	 $(1+6 \cdot \sin\alpha) \cdot d$  4 · d	10 · d	7 · d	15 · d
a _{4,t}	 beanspruchter Rand	$(2+2 \cdot \sin\alpha) \cdot d$ mind. 3 · d	$(2+2 \cdot \sin\alpha) \cdot d$ mind. 3 · d	$d < 5 \text{ mm}$ $(5+2 \cdot \sin\alpha) \cdot d$ $d \geq 5 \text{ mm}$ $(5+5 \cdot \sin\alpha) \cdot d$	$d < 5 \text{ mm}$ $(3+2 \cdot \sin\alpha) \cdot d$ $d \geq 5 \text{ mm}$ $(3+4 \cdot \sin\alpha) \cdot d$	$(15+5 \cdot \sin\alpha) \cdot d$
a _{4,c}	 unbeanspruchter Rand	3 · d	3 · d	5 · d	3 · d	10 · d

Mindestabstände bei Schräganschlüssen



Nägel und Klammern in Holzwerkstoff- und Gipsplatten

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

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

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

Bei Sperrholz sollten Mindestabstände zum Hirnholz und zu den Rändern mit 3d bei unbeanspruchtem Holzrand (oder Hirnholzende) und mit $(3 + 4 \sin \alpha) \cdot d$ bei beanspruchtem Holzrand (oder Hirnholzende) eingehalten werden, wobei α der Winkel zwischen der Krafrichtung und des belasteten Randes (oder Hirnholzendes) ist.

α = Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung

θ = Winkel zwischen Klammerrücken und Faserrichtung

Effektiv wirksame Verbindungsmittelanzahl in Faserrichtung n_{ef}

4-7

Stabdübel, Passbolzen, Bolzen, Schrauben ($d > 6$ mm)

Anzahl	Verbindungsmittelabstand a_1 (Kraft in Faserrichtung)															
	5d	6d	7d	8d	9d	10d	11d	12d	13d	14d	15d	16d	17d	18d	19d	20d
2	1,47	1,54	1,60	1,65	1,70	1,75	1,79	1,83	1,87	1,90	1,93	1,97	2,00			
3	2,12	2,22	2,30	2,38	2,45	2,52	2,58	2,63	2,69	2,74	2,79	2,83	2,87	2,92	2,96	2,99
4	2,74	2,87	2,98	3,08	3,18	3,26	3,34	3,41	3,48	3,55	3,61	3,67	3,72	3,78	3,83	3,88
5	3,35	3,51	3,65	3,77	3,88	3,99	4,08	4,17	4,26	4,34	4,41	4,48	4,55	4,62	4,68	4,74
6	3,95	4,13	4,30	4,44	4,58	4,70	4,81	4,92	5,02	5,11	5,20	5,28	5,36	5,44	5,51	5,59
7	4,54	4,75	4,94	5,10	5,26	5,40	5,53	5,65	5,76	5,87	5,97	6,07	6,16	6,25	6,34	6,42
8	5,12	5,36	5,57	5,76	5,93	6,09	6,23	6,37	6,50	6,62	6,73	6,84	6,95	7,05	7,14	7,24
9	5,69	5,95	6,19	6,40	6,59	6,77	6,93	7,08	7,22	7,36	7,49	7,61	7,73	7,84	7,94	8,05
10	6,26	6,55	6,80	7,04	7,25	7,44	7,62	7,79	7,94	8,09	8,23	8,37	8,49	8,62	8,73	8,85

Umrechnungsfaktoren bei Kraft \neq Faserrichtung

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

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

$$n_{ef} = \min \left[\begin{matrix} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{\text{vorh. } a_1}{13d}} \end{matrix} \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90}$$

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

Nicht versetzt angeordnete Nägel und Schrauben ($d \leq 6$ mm)

Anzahl	Verbindungsmittelabstand a_1										
	4d ¹⁾	5d ²⁾	6d ²⁾	7d ²⁾	8d ²⁾	9d ²⁾	10d ²⁾	11d ²⁾	12d ²⁾	13d	14d
2	1,41	1,48	1,55	1,62	1,68	1,74	1,80	1,85	1,90	1,95	2
3	1,73	1,87	2,02	2,16	2,29	2,42	2,54	2,66	2,77	2,89	3
4	2,00	2,21	2,43	2,64	2,84	3,05	3,25	3,44	3,62	3,81	4
5	2,24	2,52	2,80	3,09	3,37	3,65	3,93	4,20	4,46	4,73	5
6	2,45	2,80	3,15	3,51	3,87	4,23	4,59	4,94	5,29	5,65	6
7	2,65	3,07	3,48	3,90	4,35	4,79	5,23	5,67	6,11	6,56	7
8	2,83	3,31	3,80	4,29	4,81	5,33	5,86	6,39	6,93	7,46	8
9	3,00	3,55	4,10	4,66	5,26	5,87	6,47	7,10	7,74	8,37	9
10	3,16	3,78	4,40	5,01	5,70	6,39	7,08	7,81	8,54	9,27	10

$n = n_{ef}$ bei Klammern und um mind. 1d versetzt angeordnete Nägel oder Schrauben ($d \leq 6$ mm).

1) Abstand unzulässig bei nicht vorgebohrten Nägeln

2) Mindestabstände bei nicht vorgebohrten Nägeln entsprechend Tafel 4-1 und 4-6 überprüfen!

Dübel besonderer Bauart

Winkel	Dübelanzahl (in Faserrichtung)									
	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.

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

- n Anzahl der in Faserrichtung hintereinander liegenden Verbindungsmittel

Charakteristische Zugtragfähigkeit von Nägeln und Klammern

4-8a

Nägel und Klammern							
Sondernägel:	Glattschaftige Nägel:	$f_{ax,k}$ = Ausziehparameter d = Nenndurchmesser t_{pen} = wirksame Verankerungslänge t = Bauteildicke bei Nagelkopf	$f_{head,k}$ = Kopfdurchziehparameter d_h = Kopfdurchmesser (Nägel: $d_h = 2d$) (Klammern: $d \times b_k$)				
$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{matrix} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{head,k} \cdot d_h^2 \end{matrix} \right.$	$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{matrix} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{ax,k} \cdot d \cdot t + f_{head,k} \cdot d_h^2 \end{matrix} \right.$						
Nageltyp ¹⁾	Einschlagtiefe	C24	C30	GL24		GL28	GL30
				h	c	c	c
Ausziehparameter $f_{ax,k}$							
Glattschaftige Nägel ²⁾³⁾	$12d \leq l_{ef} \leq 20d$	2,45	2,89	2,96	2,66	3,04	3,04
SoNä Tragfähigkeitsklasse 1 ²⁾³⁾	$\geq 12d^{5)}$	4,1	4,7	4,7	4,1	4,7	4,7
SoNä Tragfähigkeitsklasse 2 ⁴⁾	$\geq 8d^{5)}$	5,4	6,4	6,4	5,4	6,4	6,4
SoNä Tragfähigkeitsklasse 3	$\geq 8d^{5)}$	6,7	7,9	7,9	6,7	7,9	7,9
Kopfdurchziehparameter $f_{head,k}$ ⁶⁾							
Glattschaftige Nägel ²⁾³⁾		8,58	10,11	10,38	9,33	10,65	10,65
SoNä Tragfähigkeitsklasse A		7,4	8,7	8,7	7,4	8,7	8,7
SoNä Tragfähigkeitsklasse B		9,8	11,6	11,6	9,8	11,6	11,6
SoNä Tragfähigkeitsklasse C		12,3	14,4	14,4	12,3	14,4	14,4
SoNä Tragfähigkeitsklasse D		14,7	17,3	17,3	14,7	17,3	17,3
SoNä Tragfähigkeitsklasse E		17,2	20,2	20,2	17,2	20,2	20,2
SoNä Tragfähigkeitsklasse F		19,6	23,1	23,1	19,6	23,1	23,1

- 1) Vorgebohrte glattschaftige Nägel dürfen nicht auf Herausziehen beansprucht werden, Sondernägel nur, wenn der Bohrdurchmesser \leq des Kerndurchmessers ist. Der Ausziehparameter $f_{ax,k}$ 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 Koppelfetten dauernd auf Herausziehen beansprucht werden, wenn die Dachneigung $\leq 30^\circ$ beträgt. Der Ausziehparameter $f_{ax,k}$ darf in solchen Fällen nur mit 60 % angesetzt werden.
- 4) Gilt auch für jeden Schaft einer beharzten Klammer nach DIN 1052-10 mit bauaufsichtlichem Verwendbarkeitsnachweis, die unter einem Winkel von $\geq 30^\circ$ zwischen Klammerrücken und Faserrichtung eingetrieben wurde.
- 5) Maximal die Länge des profilierten Schaftteils ansetzen
- 6) Beim Anschluss von Brettsperrholz, Sperrholz, OSB, kunstharzgebundenen Spanplatten oder zementgebundenen Spanplatten dürfen die charakteristischen Werte des Kopfdurchziehparameters $f_{head,k}$ 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 $f_{head,k} = 8 \text{ N/mm}^2$ gerechnet werden. Bei geringeren Plattendicken als 12 mm darf mit $F_{ax,Rk} = 400 \text{ N}$ gerechnet werden.

Charakteristische Zugtragfähigkeit von Bolzenverbindungen

4-8b

Bolzen	Scheibe				$F_{ax,Rk}$ [N]					
	d_A [mm]	d_i [mm]	s [mm]	A [mm ²]	GL24		GL28	GL32		
					C24	C30	h	c	c	c
M12	58	14	6	2488	18660	20153	18660	18660	18660	18660
M16	68	18	6	3377	25328	27354	25328	25328	25328	25328
M20	80	22	8	4646	34845	37633	34845	34845	34845	34845
M22	92	25	8	6157	46178	49872	46178	46178	46178	46178
M24	105	27	8	8086	60645	65497	60645	60645	60645	60645

d_A, d_i = Außen-/ Innendurchmesser Scheibe [mm]
 s = Scheibendicke [mm]
 A = Querschnittsfläche

$F_{ax,Rk} = A_n \cdot K_{c,90} \cdot 3 \cdot f_{c,90,k}$
 Annahme: $K_{c,90} = 1,0$

Bemessungswert: $F_{ax,Rd} = F_{ax,Rk} \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($\gamma_M, \text{Holz} = 1,3$)

Charakteristische Tragfähigkeit kombiniert beanspruchter Verbindungsmittel

4-9

Nägel, Klammern, Holzschrauben			
$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^m + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^m \leq 1$		$F_{ax,Ed}$ = Bemessungswert der Einwirkung auf Herausziehen $F_{ax,Rd}$ = Bemessungswert der Tragfähigkeit auf Herausziehen $F_{v,Ed}$ = Bemessungswert der Einwirkung auf Abscheren $F_{v,Rd}$ = Bemessungswert der Tragfähigkeit auf Abscheren m = Potenzexponent	
Potenzexponent m			
Glattschaftige Nägel		Sondernägel Tragfähigkeitsklasse 1, Klammern	Sondernägel Tragfähigkeitsklassen 2 und 3, Holzschrauben,
allgemein	in Koppelfettenanschlüssen		
1	1,5	1	2

Charakteristische Ring- und Scheibendübeltragfähigkeit, Typ A1 und B1 (Apfel)

4-10

Nadelholz C24 (Rohdichte $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$)¹⁾

Winkel	Einlass- / Fehl- / Bolzen			Mindestholzdicke		Mindestdübelabstände (Achismaße)						$F_{v,Rk}^{5)6)}$
	tiefe h_e	fläche ΔA	Ø min/max	Seitenholz $t_1^{2)}$	Mittelholz $t_2^{3)}$	a_1	a_2	$a_{3,4)}$	$a_{3,c}$	$a_{4,t}$	$a_{4,c}$	
[°]	[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 ⁷⁾ (B1:12 ⁷⁾)	45 (≥ 34)	75 (≥ 57)	130	78	130	78	39	39	18342
30						123			78	46		16808
60						104			78	50		14400
90						78			78	52		13437
Durchmesser 80 mm (d_c), A1 sowie B1												
0	15	1200	12/24 ⁷⁾ (B1:12 ⁷⁾)	45 (≥ 34)	75 (≥ 57)	160	96	160	96	48	48	25044
30						151			96	56		22871
60						128			96	62		19489
90						96			96	64		18148
Durchmesser 95 mm (d_c), A1 sowie B1												
0	15	1430	12/24 ⁷⁾ (B1:12 ⁷⁾)	45 (≥ 34)	75 (≥ 57)	190	114	190	114	57	57	32408
30						180			114	67		29495
60						152			114	73		25001
90						114			114	76		23232
Durchmesser 126 mm (d_c), A1												
0	15	1890	12/24 ⁷⁾	45 (≥ 34)	75 (≥ 57)	252	151	252	151	76	76	49502
30						238			151	88		44737
60						202			151	97		37516
90						151			151	101		34714
Durchmesser 128 mm (d_c), A1 sowie B1												
0	22,5	2880	12/24 ⁷⁾ (B1:12 ⁷⁾)	67,5 (≥ 51)	112,5 (≥ 85)	256	154	256	154	77	77	50685
30						242			154	90		45786
60						205			154	99		38369
90						154			154	102		35494
Durchmesser 160 mm (d_c), A1 sowie B1												
0	22,5	3600	16/24 ⁷⁾ (B1:16 ⁷⁾)	67,5 (≥ 51)	112,5 (≥ 85)	320	192	320	192	96	96	70835
30						303			192	112		63529
60						256			192	124		52665
90						192			192	128		48517
Durchmesser 190 mm (d_c), A1 sowie B1												
0	22,5	4280	20/24 ⁷⁾ (B1:16 ⁷⁾)	67,5 (≥ 51)	112,5 (≥ 85)	380	228	380	228	114	114	91664
30						360			228	133		81661
60						304			228	147		67030
90						228			228	152		61519

- 1) Für abweichende Festigkeitsklassen bzw. Rohdichten ($\rho_k \neq 350 \text{ kg/m}^3$) muss $F_{v,Rk}$ mit $\rho_k/350$ multipliziert werden. Dabei darf eine maximale Rohdichte bis zu 613 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 Mittelholzdicke als $3,75 h_e$ ist nicht zulässig.
- 4) Ist bei Verbindungen mit nur einem Dübel pro Scherfuge der Abstand $a_{3,t}$ größer als die tabellierten $2d_c$, darf die Tragfähigkeit im Verhältnis $a_{3,t}/2d_c$ erhöht werden ($a_{3,t} \leq 2,5d_c$).
- 5) Bei Stahlblech-Holz-Verbindungen darf die Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ mit dem Faktor 1,1 erhöht werden.
- 6) Einsatz in Nutzungsklasse 3 nicht zulässig.
- 7) Angaben zu den Unterlegscheiben siehe Tab. 4-7b

Bemessungswert: $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($\gamma_{M, Holz} = 1,3$)

Charakteristische Scheibendübeltragfähigkeit, Typ C (Bulldog, Geka)

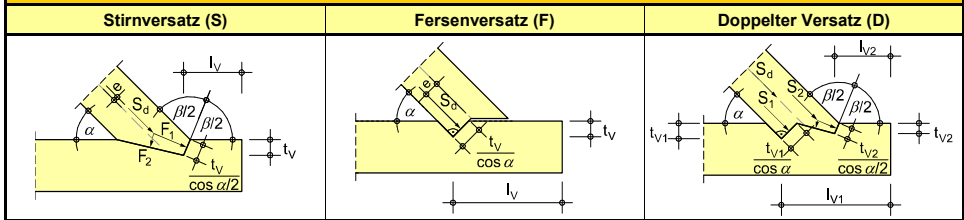
4-11

Nadelholz C24 (Rohdichte $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$)³⁾, Bolzen 4.6 ($f_{u,k} = 400 \text{ N/mm}^2$)³⁾

Dübel Ø d _c [mm]	Einpress- tiefe h _e [mm]	Fehl- fläche ΔA [mm ²]	Bolzen ⁷⁾ Ø [mm]	Mindestholzdicke				Mindestdübelabstände bei α = 0 (Achismaße)						Dübel F _{v,Rk} ³⁾ [N]	Bolzen F _{v,Rk} ⁴⁾⁵⁾⁶⁾ [N]	
				Seitenholz		Mittelholz		a ₁	a ₂	a _{3,1} ⁵⁾	a _{3,c}	a _{4,1}	a _{4,c}			
				Dübel t ₁ ¹⁾	Bolzen t _{1,req} 3/4)	Dübel t ₂ ²⁾	Bolzen t _{2,req} 3/4)									[mm]
Typ C1 (Bulldog)																
50	6,0	170	12	22 ^{B)}	62	30	52	75	60	75	60	30	30	6364	6821	
62	7,4	300		23	37	93		74	93	74	37	37	8787			
75	9,1	420	16	27	81	46	67	113	90	113	90	45	45	11691		
95	11,3	670		34	57	143		114	143	114	57	57	16667			
117	14,3	1000	20	43	99	72	82	176	140	176	140	70	70	22780		16309
140	14,7	1240	24	44	117	74	97	210	168	210	168	84	84	29817		22072
165	15,6	1490		47	78	248		198	248	198	99	99	38150			
Typ C2 (Bulldog)																
50	5,6	170	12	22 ^{B)}	62	28	52	75	60	75	60	30	30	6364	6821	
62	7,5	300		23	38	93		74	93	74	37	37	8787			
75	9,2	420	16	28	81	46	67	113	90	113	90	45	45	11691		
95	11,4	670		34	57	143		114	143	114	57	57	16667			
117	14,5	1000	20	44	99	73	82	176	140	176	140	70	70	22780		16309
Typ C3 und C4																
73×130	13,25	1110	20	40	99	67	82	146	117	146	117	58	58	17307	16309	
Typ C5																
100	7,3	430	20	22 ^{B)}	99	37	82	150	120	150	120	60	60	18000	16309	
130	9,25	690	24	28	117	47	97	195	156	195	156	78	78	26680	22072	
Typ C10 (Geka)																
50	12	460	12	36	62	60	52	100	60	100	60	30	30	8839	6821	
65		590	16		81		67	130	78	130	78	39	39	13101	11184	
80		750	20		99		82	160	96	160	96	48	48	17889	16309	
95		900	24		117		97	190	114	190	114	57	57	23149	22072	
115		1040						230	138	230	138	69	69	30831		
Typ C11 (Geka)																
50	12	540	12	36	62	60	52	100	60	100	60	30	30	8839	6821	
65		710	16		81		67	130	78	130	78	39	39	13101	11184	
80		870	20		99		82	160	96	160	96	48	48	17889	16309	
95		1070	24		117		97	190	114	190	114	57	57	23149	22072	
115		1240						230	138	230	138	69	69	30831		

- 1) Wird die Seitenholzdicke unterschritten, muss im Bereich von 2,25 h_e ≤ t₁ ≤ 3 h_e die Dübeltragfähigkeit im Verhältnis t₁/3h_e verringert werden; eine geringere Seitenholzdicke als 2,25 h_e ist nicht zulässig.
- 2) Wird die Mittelholzdicke unterschritten, muss im Bereich von 3,75 h_e ≤ t₂ ≤ 5 h_e die Dübeltragfähigkeit im Verhältnis t₂/5h_e verringert werden; eine geringere Seitenholzdicke als 3,75 h_e ist nicht zulässig.
- 3) Für abweichende Holz- Festigkeitsklassen bzw. Rohdichten ($\rho_k \neq 350 \text{ kg/m}^3$) und andere Stahlsorten ($f_{u,k} \neq 400 \text{ N/mm}^2$) muss $F_{v,Rk}$ mit $\sqrt{\frac{\rho_k}{350} \cdot \frac{f_{u,k}}{400}}$ und t_{req} mit $\sqrt{\frac{350}{\rho_k} \cdot \frac{f_{u,k}}{400}}$ multipliziert werden; dabei darf eine maximale Rohdichte bis zu 525 kg/m³ angesetzt werden.
- 4) Wird die Holzdicke für die Bolzen nicht eingehalten, ist die Tragfähigkeit der Bolzen im Verhältnis t/t_{req} abzumindern.
- 5) Der Abstand a_{3,1} darf bei Dübeln des Typs C1 bis C9 von den tabellierten 1,5 d_c auf 1,1 d_c reduziert werden, wenn die Tragfähigkeit im Verhältnis a_{3,1}/1,5 d_c verringert wird.
- 6) Wenn die Kraft nicht in Faserrichtung angreift, ist die Tragfähigkeit des Bolzens zu reduzieren (siehe Tafel 4-5).
- 7) Empfohlene Bolzendurchmesser; Angaben zu den Unterlegscheiben siehe Tab. 4-8b.
- 8) Für Nadelholz wird eine Mindestholzdicke von 22 mm empfohlen (ehem. DIN EN 336).

Bemessungswerte: Dübel: $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($\gamma_{M, Holz} = 1,3$), **Bolzen** $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} \cdot k_{mod} / \gamma_M$ ($\gamma_{M, Stahl} = 1,1$)



Tragfähigkeit

max. $S_d = b \cdot t_v \cdot f_{c,0,d} \cdot k_S$

max $S_d = b \cdot t_v \cdot f_{c,0,d} \cdot k_F$

max. $S_{D,d} = S_{S,d} + S_{F,d}$

Nachweise

$$\frac{S_d}{b \cdot t_v} \leq \frac{f_{c,0,d} \cdot k_S}{1}$$

$$\frac{S_d}{b \cdot t_v} \leq \frac{f_{c,0,d} \cdot k_F}{1}$$

$$\frac{S_1}{b \cdot t_v} \leq \frac{f_{c,0,d} \cdot k_S}{1}$$

$$\frac{S_2}{b \cdot t_v} \leq \frac{f_{c,0,d} \cdot k_S}{1}$$

Vorhollänge l_v

$$l_v \geq \frac{S_d \cdot \cos \alpha}{b \cdot f_{v,d}}$$

20 cm $\leq l_v \leq 8 t_v$

$$l_v \geq \frac{S_d \cdot \cos \alpha}{b \cdot f_{v,d}}$$

20 cm $\leq l_v \leq 8 t_v$

$$l_{v2} \geq \frac{S_{2,d} \cdot \cos \alpha}{b \cdot f_{v,d}} \quad l_{v1} \geq \frac{S_{1,d} \cdot \cos \alpha}{b \cdot f_{v,d}}$$

20 cm $\leq l_v \leq 8 t_v$

Max. Einschnitttiefe t_v

Lagesicherung

$\alpha \leq 50^\circ$

$t_v \leq \frac{h}{4}$

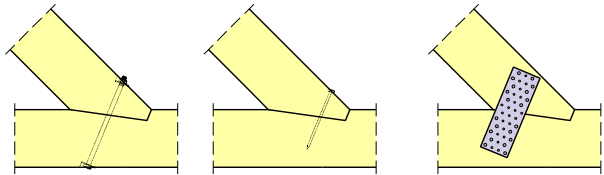
$50^\circ < \alpha \leq 60^\circ$

$t_v \leq \frac{h}{4} \cdot \left(1 - \frac{\alpha - 50}{30}\right)$

$\alpha > 60^\circ$

$t_v \leq \frac{h}{6}$

Doppelter Versatz: $t_{v2} \leq 0,8 t_{v1}$
 $t_{v2} \leq t_{v1} - 1,0 \text{ cm}$



Beiwerte k_S und k_F

α	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
Nadelholz C24										
k_S	0,976	0,958	0,937	0,912	0,886	0,860	0,835	0,812	0,792	0,775
k_F	0,881	0,808	0,736	0,671	0,620	0,582	0,560	0,553	0,564	0,596
Brettschichtholz GL24h										
k_S	0,941	0,902	0,861	0,820	0,781	0,745	0,714	0,688	0,666	0,650
k_F	0,792	0,700	0,623	0,563	0,519	0,489	0,473	0,470	0,482	0,513
$k_S =$	$\frac{1}{\cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{v,d}} \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{v,d}} \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)^2} + \cos^4\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$									
$k_F =$	$\frac{1}{\cos \alpha \cdot \sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{90,d}} \sin^2 \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{v,d}} \sin \alpha \cdot \cos \alpha\right)^2} + \cos^4 \alpha}$									

Da die in Tafel 1-1 angegebene Schubfestigkeit $f_{v,d}$ mit k_{cr} reduziert wurde, muss dieser Schritt hier wieder rückgängig gemacht werden. In den Formeln für k_S sowie k_F wird daher $f_{v,d}$ mit dem Faktor 2,0 (NHC24) multipliziert. Für GL24h muss in den vorgenannten Formeln der Faktor 2 bei der Schubfestigkeit auf 1,4 reduziert werden.

Wärmeschutz (Bauphysikalische Grundlagen) 5-1

Wärmedurchlasswiderstand R 5-1a

Für eine Baustoffschicht	$R = \frac{d}{\lambda}$	R = Wärmedurchlasswiderstand [(m ² K)/W] d = Baustoffdicke [m] λ = Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit [W/(m K)]
Für mehrere Baustoffschichten mit $i = 1, 2, 3 \dots, n$.	$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n}$ $R = \sum \frac{d_i}{\lambda_i}$	

Die oben dargestellte Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes gilt für alle homogenen Bauteile. Das sind Bauteile, deren Schichten über die ganze Fläche durchlaufen und nicht von anderen Baustoffen unterbrochen werden. Bei inhomogenen Bauteilen wie Fachwerk oder gedämmten Dächern werden die U-Werte der Balken- (a) und Gefachbereiche (b) gesondert berechnet und anschließend entsprechend der Einwirkungsbreite gewichtet (siehe 5-1d).

Wärmeübergangswiderstand R_{si} , R_{se} (DIN EN ISO 6946) 5-1b

		Richtung des Wärmestromes		
		Aufwärts ↑	Horizontal ⇔	Abwärts ↓
R_{si}	Wärmeübergangswiderstand innen [(m ² K)/W]	0,10	0,13	0,17
R_{se}	Wärmeübergangswiderstand außen [(m ² K)/W]	0,04		

- Werte unter „Horizontal“ gelten für Richtungen des Wärmestromes von ± 30° zur horizontalen Ebene.
- Für Bauteile im inneren eines Gebäudes ist auf beiden Seiten der gleiche Wärmeübergangswiderstand R_{si} anzusetzen
- Bei Bauteilen gegen Erdreich wird auf der Außenseite (R_{se}) immer mit 0,0 gerechnet
- Bei abgedeckten und hinterlüfteten Bauteilen (z. B. Vorhangfassade, Dachschrägen) wird für den äußeren Wärmeübergangswiderstand auch der Wert des inneren angesetzt.

Wärmedurchgangswiderstand R_T 5-1c

$R_T = R_{si} + R + R_{se}$	R_T = Wärmedurchgangswiderstand [(m ² K)/W]
-----------------------------	--

Wärmedurchgangskoeffizient U 5-1d

Bei homogenen Bauteilen	$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$	U = Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m ² K)] (U-Wert)
Bei inhomogenen Bauteilen (z. B. Dächern mit Sparren)	$U_m = \frac{U_a \cdot a + U_b \cdot b}{a + b}$	U_m = mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m ² K)] a = Breite Balkenbereich [m] b = Breite Gefachbereich [m]

Temperaturverlauf bei mehrschichtigen Bauteilen 5-2

Wärmestromdichte	$q = U \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) = \frac{\vartheta_i - \vartheta_e}{R_T}$	q = Wärmestromdichte [W/m ²] R_T = Wärmedurchgangswiderstand [(m ² K)/W] ϑ_i = Temperatur innen [C°] ϑ_e = Temperatur außen [C°]
Temperaturverlauf bei mehrschichtigen Bauteilen:	$\vartheta_{si} = \vartheta_i - R_{si} \cdot q$ $\vartheta_{1/2i} = \vartheta_{si} - R_1 \cdot q$ $\vartheta_{2/3} = \vartheta_{1/2} - R_2 \cdot q$ $\vartheta_{3/4} = \vartheta_{2/3} - R_3 \cdot q$	

Bauteile mit einer flächenbezogenen Masse m' $\geq 100 \text{ kg/m}^2$

Diese Tabelle enthält die Anforderungen an den Wärmedurchlasswiderstand ein- und mehrschaliger Bauteile mit einer flächenbezogenen Masse von $m' \geq 100 \text{ kg/m}^2$, die Räume nach Abschnitt 1 gegen die Außenluft, niedrig beheizte Bereiche, Bereiche mit wesentlich niedrigeren Innentemperaturen oder unbeheizte Bereiche abtrennen.

Zeile	Bauteile	Beschreibung	Wärmedurchlasswiderstand R des Bauteils ²⁾ [m ² K/W]
1	Wände beheizter Räume	gegen Außenluft, Erdreich, Tiefgaragen, nicht beheizte Räume (auch nicht beheizte Dachräume oder nicht beheizte Kellerräume außerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche)	1,2 ³⁾
2	Dachschrägen beheizter Räume	gegen Außenluft	1,2
3	Decken beheizter Räume nach oben und Flachdächer		
3.1		gegen Außenluft	1,2
3.2		zu belüfteten Räumen zwischen Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,9
3.3		zu nicht beheizten Räumen, zu bekriechbaren oder noch niedrigeren Räumen	0,9
3.4		zu Räumen zwischen gedämmten Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,35
4	Decken beheizter Räume nach unten		
4.1 ¹⁾		gegen Außenluft, gegen Tiefgarage, gegen Garagen (auch beheizte), Durchfahrten (auch verschließbare) und belüftete Kriechkeller	1,75
4.2		gegen nicht beheizten Kellerraum	0,90
4.3		unterer Abschluss (z. B. Sohlplatte) von Aufenthaltsräumen unmittelbar an das Erdreich grenzend bis zu einer Raumtiefe von 5 m	
4.4		über einem nicht belüfteten Hohlraum, z. B. Kriechkeller, an das Erdreich grenzend	
5	Bauteile an Treppenräumen		
5.1		Wände zwischen beheiztem Raum und direkt beheiztem Treppenraum, Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, sofern die anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen dieser Tabelle erfüllen	0,07
5.2		Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, wenn nicht alle anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen dieser Tabelle erfüllen.	0,25
5.3		oberer und unterer Abschluss eines beheizten oder indirekt beheizten Treppenraumes	wie Bauteile beheizter Räume
6	Bauteile zwischen beheizten Räumen		
6.1		Wohnungs- und Gebäudetrennwände zwischen beheizten Räumen	0,07
6.2		Wohnungstrenndecken, Decken zwischen Räumen unterschiedlicher Nutzung	0,35

1) Vermeidung von Fußkälte

2) Bei erdberührten Bauteilen: konstruktiver Wärmedurchlasswiderstand

3) Bei niedrig beheizten Räumen 0,55 m² K/W

Bauteile mit einer flächenbezogenen Masse m' $< 100 \text{ kg/m}^2$

Der Wärmedurchlasswiderstand ein- und mehrschaliger Bauteile mit einer flächenbezogenen Masse von $m' < 100 \text{ kg/m}^2$ muss mindestens $R = 1,75 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ betragen.

Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung (Ersatz oder erstmaliger Einbau) an bestehenden Gebäuden (GEG 2023, Anlage 7)

5-4

Zeile	Bauteil	Wohngebäude und Zonen von Nichtwohngebäuden Raum-Solltemperatur $\geq 19^\circ\text{C}$	Zonen von Nichtwohngebäuden mit Raum-Solltemperaturen von 12 bis $< 19^\circ\text{C}$
		Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U_{max} [W/(m ² ·K)]	
1a ¹⁾	Außenwände	0,24	0,35
1b ^{1,2)}	wie 1a, bei Anbringen außenseitiger Bekleidungen oder Dämmschichten sowie Erneuerung des Außenputzes		
2a	Fenster und Fenstertüren	1,3	1,9
2b	Dachflächenfenster	1,4	1,9
2c ³⁾	Ersatz der Verglasungen oder verglaster Flügelrahmen	1,1	keine Anforderung
2d	Vorhangfassaden in Pfosten-Riegel-Konstruktion	1,5	1,9
2e ³⁾	Glasdächer sowie Ersatz der Verglasung	2,0	2,7
2f	Fenstertüren mit Klapp-, Fall-, Schiebe-, Hebemechanismus	1,6	1,9
3a ⁴⁾	Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster mit Sonderverglasungen	2,0	2,8
3b ⁴⁾	Ersatz der Sonderverglasungen oder vergl. Flügelrahmen	1,6	keine Anforderung
3c ^{3,4)}	Vorhangfassaden mit Sonderverglasungen	2,3	3,0
4	Außentüren	1,8	1,8
5a ¹⁾	Dachflächen einschließlich Dachgauben, Wänden und Decken gegen unbeheizten Dachraum	0,24	0,35
5b ^{1,2)}	wie 5a, bei Ersatz oder Neuaufbau einer Dachdeckung, bei Aufbringen/Erneuerung von Bekleidungen sowie Dämmschichten auf der kalten Seite von Wänden und Decken		
5c ^{1,2)}	Dachflächen mit Abdichtung	0,20	0,35
6a ¹⁾	Wände gegen Erdreich oder unbeheizte Räume (mit Ausnahme von Dachräumen) sowie Decken nach unten gegen Erdreich oder unbeheizte Räume	0,30	keine Anforderung
6b ^{1,2)}	wie 6a, bei Anbringen oder Erneuern außenseitiger Bekleidungen, Feuchtigkeitssperren oder Drainagen sowie Deckenbekleidungen auf der Kaltseite von Decken		
6c ^{1,2)}	Fußbodenaufbauten	0,50	keine Anforderung
6d ¹⁾	Decken nach unten gegen Außenluft	0,24	0,35
6e ^{1,2)}	wie 6d, bei Anbringen oder Erneuern außenseitiger Bekleidungen, Feuchtigkeitssperren oder Drainagen sowie Deckenbekleidungen auf der Kaltseite		

- Ist die Dämmschichtdicke aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn die nach anerkannten Regeln der Technik höchstmögliche Dämmschichtdicke eingebaut wird; Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,035 \text{ W/(m·K)}$ ist einzuhalten. Soweit Dämmmaterialien in Hohlräume eingebaut oder Dämmmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet werden, ist ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,045 \text{ W/(m·K)}$ einzuhalten. Dies gilt auch bei Dachdeckungsmaßnahmen nach Nr. 5b, wenn der Wärmeschutz als Zwischensparrendämmung ausgeführt wird und die Dämmschichtdicke wegen einer innenseitigen Bekleidung oder der Sparrenhöhe begrenzt ist. Vorgenannte Vereinfachungen sind bei den Nr. 5a, 5b, und 5c nur auf opake Bauteile anzuwenden.
- Die hier genannten Anforderungen müssen nicht eingehalten werden, wenn die Außenwand bzw. Bauteilfläche nach dem 31. Dezember 1983 unter Einhaltung energiesparrechtlicher Vorschriften errichtet oder erneuert worden ist.
- Bei Ersatz der Verglasung oder verglaster Flügelrahmen gelten die Anforderungen nicht, wenn der vorhandene Rahmen zur Aufnahme der vorgeschriebenen Verglasung ungeeignet ist. Werden bei Nr. 2c oder 2e Verglasungen oder verglaste Flügelrahmen ersetzt und ist die Glasdicke im Rahmen dieser Maßnahmen aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn eine Verglasung mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von höchstens $1,3 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ eingebaut wird. Werden Maßnahmen nach Nummer 2c an Kasten- oder Verbundfenstern gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn eine Glastafel mit einer infrarot-reflektierenden Beschichtung mit einer Emissivität $\epsilon_n \leq 0,2$ eingebaut wird.
- Sonderverglasungen sind Schallschutzverglasungen $R_{w,R} \geq 40 \text{ dB}$, Sonderaufbauten zur Durchschuss-, Durchbruch- oder Sprengwirkungshemmung oder Brandschutzglas mit einer Einzelelementdicke von mindestens 18 mm

Technische Mindestanforderungen zum Förderprogramm
Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM TMA)
5-5

Zeile	Bauteil	Wohngebäude und Zonen von Nichtwohngebäuden $T \geq 19^\circ\text{C}$		Zonen von Nichtwohngebäuden mit $12^\circ\text{C} < t < 19^\circ\text{C}$
		Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{\text{max}} [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$		
1a	Außenwand	0,20		0,25
1b	Einblasdämmung/Kerndämmung bei bestehendem zweischaligem Mauerwerk	$\lambda \leq 0,035 [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$		$\lambda \leq 0,045 [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$
1c	Außenwände bei Baudenkmalen für alle Gebäude und bei sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz nur für Wohngebäude	0,45		0,55
1d	Außenwände mit Sichtfachwerk (Innendämmung bei Fachwerkaußenwänden, Erneuerung der Ausfachungen)	0,65		0,80
2a	Fenster, Balkon- und Terrassentüren ¹	0,95		1,3
2b	Ertüchtigung von Fenstern, Balkon- und Terrassentüren sowie von Kastenfenstern sowie von Fenstern mit Sonderverglasung	1,3		1,6
2c	Barrierearme oder einbruchhemmende Fenster, Balkon- und Terrassentüren	1,1		1,4
2d	Fenster, Balkon- und Terrassentüren mit Sonderverglasung			
2e	Fenster, Balkon- und Terrassentüren bei Baudenkmalen für alle Gebäude und bei sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz nur für Wohngebäude	1,4		1,7
2f	Fenster, Balkon- und Terrassentüren mit echten glasteilenden Sprossen bei Baudenkmalen für alle Gebäude und bei sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz nur für Wohngebäude	1,6		
2g	Ertüchtigung von Fenstern, Balkon- und Terrassentüren bei Baudenkmalen für alle Gebäude und bei sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz nur für Wohngebäude			1,9
2h	Dachflächenfenster	1,0		1,1
2i	Glasdächer	1,6		
2j	Lichtbänder und Lichtkuppeln	1,5		1,9
2k	Vorhangfassaden ²	1,3		
2l	Außentüren beheizter Räume, Hauseingangstüren ³			
2m	Tore (nur Nichtwohngebäude)	1,0		2,0
3a	Dachflächen von Schrägdächern und dazugehörige Kehlbalkenlag.	0,14		0,25
3b	Dachgauben	0,20		
3c	Oberste Geschossdecken und Wände (einschließlich Abseitenwände) gegen unbeheizte Dachräume	0,14		0,20
3d	Flachdächer und Dachflächen mit Abdichtung			
3e	Dachflächen bei Baudenkmalen für alle Gebäude und bei sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz nur für Wohngebäude höchstmögliche Dämmstoffdicke (Flach- bzw. Schrägdächer sowie zugeh. Kehlbalkenl., Dachgauben oder oberste Geschossdecken)	$\lambda \leq 0,040 [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$		
3f	Wände gegen Erdreich oder unbeheizte Räume sowie Kellerräume	0,25		
3g	Decken gegen unbeheizte Räume sowie Kellerdecken	0,25		
3h	Geschossdecken gegen Außenluft von unten	0,20	0,25	
3i	Bodenflächen gegen Erdreich	0,25		
3j	Neuer Fußbodenaufbau bei bestehenden Bodenflächen gegen Erdreich (nur NWG)	0,35		

 1) U_{max} bezieht sich auf den U_{W} -Wert

 2) Vorhangfassaden, deren Bauart in DIN EN 12631: 2018-01 beschrieben ist; U_{max} bezieht sich auf den U_{CW} -Wert

 3) U_{max} bezieht sich auf den U_{D} -Wert

Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilen für ein Wohngebäude (Neubau) nach dem vereinfachten Nachweisverfahren (GEG 2023, Anlage 5)

5-6

Zeile	Bauteil	Wärmedurchgangskoeffizienten [W/(m ² ·K)]
1	Dachflächen, oberste Geschossdecke, Dachgauben	$U \leq 0,14$
2	Fenster und sonstige transparente Bauteile	$U_W \leq 0,90$
3	Dachflächenfenster	$U_W \leq 1,0$
4	Außenwände, Geschossdecken nach unten gegen Außenluft	$U \leq 0,20$
5	Sonstige opake Bauteile (Kellerdecken, Wände und Decken zu unbeheizten Räumen, Wand- und Bodenflächen gegen Erdreich, etc.)	$U \leq 0,25$
6	Türen (Keller- und Außentüren)	$U_D \leq 1,2$
7	Lichtkuppeln und ähnliche Bauteile	$U \leq 1,5$
8	Spezielle Fenstertüren (mit Klapp-, Falt-, Schiebe- oder Hebe Mechanismus)	$U_W \leq 1,4$
9	Vermeidung von Wärmebrücken	$\Delta U_{WB} \leq 0,035$

Wärmedurchlasswiderstand ruhender Luftschichten (DIN EN ISO 6946)

5-7

Zeile	Dicke der Luftschicht [mm]	Richtung des Wärmestroms		
		Aufwärts [m ² ·K/W]	Horizontal [m ² ·K/W]	Abwärts [m ² ·K/W]
1	0	0,00	0,00	0,00
2	5	0,11	0,11	0,11
3	7	0,13	0,13	0,13
4	10	0,15	0,15	0,15
5	15	0,16	0,17	0,17
6	25	0,16	0,18	0,19
7	50	0,16	0,18	0,21
8	100	0,16	0,18	0,22
9	300	0,16	0,18	0,23

Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) werden die Luftschichten als Wärmedurchlasswiderstand R_{Luft} berücksichtigt. Die Bemessungswerte gelten für Luftschichten, die in Wärmestromrichtung eine Dicke von weniger als dem 0,1-fachen der Länge bzw. Breite der Luftschicht und von höchstens 0,3 m haben. Die Begrenzungsflächen müssen parallel zueinander und senkrecht zum Wärmestrom verlaufen und einen Emissionsgrad von mindestens 0,8 besitzen. Im Innenraum darf kein Luftaustausch vorhanden sein.

Abweichende Luftschichten können nach DIN EN ISO 6946 Anhang D angewandt werden.

Für Komponenten mit Luftschichten, die dicker als 0,3 m sind, sollte kein einzelner Wärmedurchgangskoeffizient berechnet werden. Vielmehr sollten Wärmeströme mittels einer Wärmebilanz berechnet werden (siehe ISO 13789).

Ruhende Luftschicht

Eine Luftschicht gilt als ruhend, wenn ein Luftstrom darin technisch nicht vorgesehen ist. In Tabelle 5-7 sind Werte des Wärmedurchlasswiderstandes angegeben. Die Werte unter „horizontal“ gelten für Richtungen des Wärmestromes von $\pm 30^\circ$ zur horizontalen Ebene. Eine Luftschicht mit kleinen Öffnungen zur Außenumgebung, die jedoch keine Dämmschicht zwischen sich und der Außenumgebung besitzt, ist auch als ruhende Luftschicht zu betrachten, wenn diese Öffnungen so angeordnet sind, dass ein Luftstrom durch die Schicht nicht möglich ist und die Öffnungen

$\leq 500 \text{ mm}^2$ je Meter Länge (in horizontaler Richtung) für vertikale Luftschichten und

$\leq 500 \text{ mm}^2$ je Quadratmeter Oberfläche für horizontale Luftschichten sind.

Entwässerungsöffnungen (Drainageöffnungen) in Form von offenen vertikalen Fugen in der Außenschale von zweischaligem Mauerwerk erfüllen in der Regel die oben genannten Kriterien und werden daher nicht als Lüftungsöffnungen angesehen.

Schwach belüftete Luftschicht

Schwach belüftet ist eine Luftschicht, wenn der Luftaustausch mit der Außenumgebung durch Öffnungen begrenzt ist, deren Fläche A in folgenden Bereichen liegt:

$> 500 \text{ mm}^2$, jedoch $< 1 500 \text{ mm}^2$ je Meter Länge (in horizontaler Richtung) für vertikale Luftschichten;

$> 500 \text{ mm}^2$, jedoch $< 1 500 \text{ mm}^2$ je Quadratmeter Oberfläche für horizontale Luftschichten.

Die Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes einer ruhenden Luftschicht erfolgt entsprechend DIN EN ISO 6946:2023-04

Stark belüftete Luftschicht

Eine Luftschicht gilt als stark belüftet, wenn die Öffnungen zwischen Luftschicht und Außenumgebung

$\geq 1 500 \text{ mm}^2$ je Meter Länge (in horizontaler Richtung) für vertikale Luftschichten und

$\geq 1 500 \text{ mm}^2$ je Quadratmeter Oberfläche für horizontale Luftschichten sind.

Als äußerer Wärmeübergangswiderstand wird der Wärmeübergangswiderstand bei ruhender Luft, also der innere Wärmeübergangswiderstand R_{si} angesetzt, weil die Luftgeschwindigkeit nicht mit der direkten Außenluft vergleichbar ist.

Auswahl von Bemessungswerten der Wärmeleitfähigkeit λ und Richtwerten der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen μ (DIN 4108-4)
5-8

Zeile	Stoff	Rohdichte $\rho^{1),2)}$ [kg/m ³]	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ_B [W/(m K)]	Richtwert der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl $\mu^{3)}$
Putze und Estriche				
1.1	Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	(1800)	1,0	15/35
1.2	Gipsputzmörtel nach DIN EN 132791-1	(1000)	0,34	4/10
1.3		(1200)	0,43	
1.4		(1400)	0,51	
1.5	Kunstharzputz	(1100)	0,70	50/200
1.6	Zementestrich	(2000)	1,4	15/35
Bauplatten				
2.1	Porenbeton-Bauplatten (PpI) mit normaler Fugendicke und Mauermörtel, nach DIN EN 1996-1-1, DIN EN 1996-2 verlegt	600	0,24	5/10
2.2		800	0,29	
2.2	Gipsplatten nach DIN 18180	900	0,25	4/10
Mauerwerk, einschließlich Mörtelfugen				
Mauerwerk aus Mauerziegeln nach DIN 105, Teile 4-6 bzw. Mauerziegel nach DIN EN 771-1 in Verbindung mit DIN 20000-401				
3.1	Vollklinker, Hochlochklinker, Keramikklinker	1800	0,81 ⁴⁾	5/10
3.2	Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel	1200	0,50 ⁴⁾	
3.3		1400	0,58 ⁴⁾	
3.4		1600	0,68 ⁴⁾	
3.5		1800	0,81 ⁴⁾	
3.6		Hochlochziegel HLZA und HLZB	600	
3.7	800		0,34 ⁵⁾ 0,39 ⁴⁾	
3.8	Hochlochziegel HLZW	600	0,20 ⁵⁾ 0,23 ⁴⁾	
3.9		800	0,23 ⁵⁾ 0,26 ⁴⁾	
Mauerwerk aus Kalksandsteinen, Porenbeton- und Betonsteinen				
3.10	Mauerwerk aus Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN 20000-402	1200	0,56	5/10
3.11		1600	0,79	15/25
3.12	Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen (PP) nach DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN 20000-404	400	0,13	5/10
3.13		600	0,19	
3.14	Hohlblöcke (Hbl) nach DIN 20000-403, Gr. 1	1000	0,45 ⁴⁾	5/10
Sonstige gebräuchliche Stoffe				
4.1	Bitumenbahnen nach DIN EN 13707	(1200)	0,17	20000
4.2	Lose Schüttungen, abgedeckt aus Sand, Kies, Splitt (trocken)	(1800)	0,70	3
4.3	Lehmbaumstoffe	1200	0,47	5/10
1) Die in Klammern angegebenen Rohdichtewerte dienen nur zur Ermittlung der flächenbezogenen Masse (z. B. für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes). 2) Die bei den Steinen genannten Rohdichten entsprechen den Rohdichteklassen der zitierten Stoffnormen. 3) Es ist jeweils der für die Baukonstruktion ungünstigere Wert einzusetzen. Bezüglich der Anwendung der μ -Werte siehe DIN 4108-3. 4) Tabellenwerte gelten für die Verwendung von Normal- und Dünnbettmörtel (Hohlblöcke nur Normalmörtel) 5) Tabellenwerte gelten für die Verwendung von Leichtmörtel LM21 ($\lambda = 0,21$) bzw. LM36 (0,36 W/(mK))				

Auswahl von Wärmedämmstoffen nach harmonisierten Europäischen Normen (DIN 4108-4) 5-9

Zeile	Stoff	Wärmeleitfähigkeit		Richtwert der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl $\mu^{(4)}$
		Nennwerte λ_D [W/(m K)]	Bemessungswerte λ_B [W/(m K)]	
1	Mineralwolle (MW) nach DIN EN 13162	0,030	0,031	1
		
3	Expandierter Polystyrolschaum (EPS) nach DIN EN 13163	0,030	0,031	20/100
		
5	Extrudierter Polystyrolschaum (XPS) nach DIN EN 13164	0,022	0,023	80/250
		
6	Polyurethan-Hartschaum (PU) nach DIN EN 13165 ⁵⁾	0,020	0,021	40/200
		
7	Phenolharz-Hartschaum (PF) nach DIN EN 13166	0,040	0,041	10/60
		
8	Holzfaserdämmstoff (WF) nach DIN EN 13171	0,020	0,021	3/5
		
		0,035	0,036	
		0,032	0,034	
		
		0,060	0,063	

Auswahl wärmeschutztechnischer Bemessungswerte für Baustoffe, die gewöhnlich bei Gebäuden zur Anwendung kommen (DIN EN ISO 10456) 5-10

Zeile	Stoffgruppe oder Anwendung	Rohdichte ρ [kg/m ³]	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m K)]	Spezifische Wärmespeicherkapazität c_p [J/(kg K)]	Richtwert der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ	
					trocken	Feucht
1	Beton					
	Hohe Rohdichte	2400	2,0 (2,5 ¹⁾)	1000	130	80
2	Metalle					
2.1	Aluminiumlegierungen	2800	160	880	∞	∞
2.2	Kupfer	8900	380	380	∞	∞
2.3	Stahl	7800	50	450	∞	∞
2.4	Nicht rostender Stahl, ferrist.	7900	17	460	∞	∞
3	Nutzholz					
3.1	Nadelholz	450	0,12	1600	50	20
3.2	Laubholz	500	0,13		50	20
4	Holzwerkstoff					
4.1	Sperrholz ²⁾	300	0,09	1600	150	50
4.2		500	0,13		200	70
4.3	Spanplatten	600	0,14	1700	50 ⁴⁾	15 ⁴⁾
4.4	OSB-Platten	650	0,13	1700	50 ⁴⁾	30 ⁴⁾
4.5	Zementgebundene Spanpl.	1200	0,23	1500	50	30
4.6	Holzfaserplatten (inkl. MDF ³⁾)	600	0,14	1700	20	12

- 1) Klammerwerte gelten für bewehrten Beton (2% Stahl)
- 2) Diese Werte gelten auch für Hartfaserplatten (SWP) und Bauholz mit Furnierschichten (LVL)
- 3) Medium Density Fireboard (mitteldichte Holzfasertafel)
- 4) Die Werte der Norm sind eher zu niedrig. Es wird empfohlen, die Herstellerangaben zu verwenden.

Klimabedingungen für die Tauwasserbildung in Bauteilen (DIN 4108-3)

5-11a

	Temperatur Θ	Relative Luftfeuchtigkeit φ	Wasserdampfdruck P	Zeitdauer t
Tauperiode (Dezember bis Februar)				
Innenklima	20° C	50 %	1168 Pa	2160 h
Außenklima	-5° C	80 %	321 Pa	

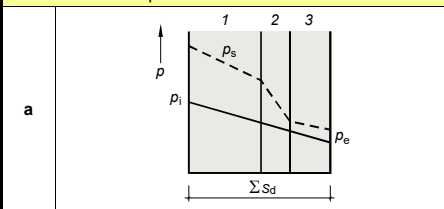
Bitte beachten:

Bei der Anwendung des Periodenbilanzverfahrens sind in allen vier Fällen der Tauwasserberechnung zur Bestimmung der Temperaturverteilungen die folgenden Wärmeübergangswiderstände anzusetzen: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$.

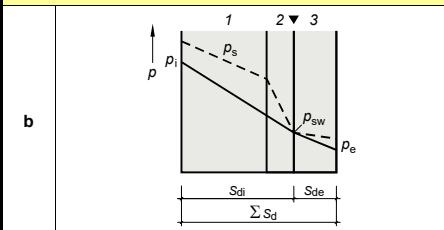
Schematische Diffusionsdiagramme während der Tauperiode

5-11b

Fall a: Wasserdampfdiffusion ohne Tauwasserausfall im Bauteil



Fall b: Tauwasserausfall in einer Ebene



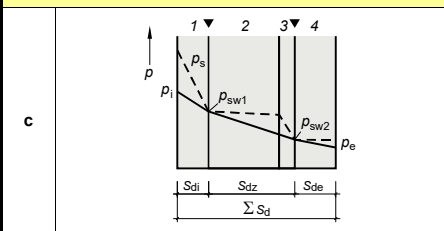
Diffusionsstromdichte

- in das Bauteil: $i_i = \frac{p_i - p_{sw}}{z_i}$

- zum Freien: $i_e = \frac{p_{sw} - p_e}{z_e}$

Tauwassermasse in der Ebene ∇
 $W_{T1} = t_T \cdot (i_i - i_e)$

Fall c: Tauwasserausfall in zwei Ebenen



Diffusionsstromdichte

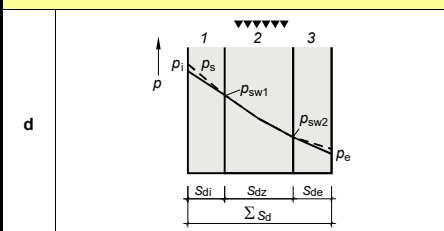
- in das Bauteil: $i_i = \frac{p_i - p_{sw1}}{z_i}$

- von Ebene 1 zu Ebene 2: $i_z = \frac{p_{sw1} - p_{sw2}}{z_z}$

- zum Freien: $i_e = \frac{p_{sw2} - p_e}{z_e}$

Tauwassermasse
 - in der Ebene 1 ∇
 $W_{T1} = t_T \cdot (i_i - i_z)$
 - in der Ebene 2 ∇
 $W_{T2} = t_T \cdot (i_z - i_e)$

Fall d: Tauwasserausfall in einem Bereich



Diffusionsstromdichte

- in das Bauteil: $i_i = \frac{p_i - p_{sw1}}{z_i}$

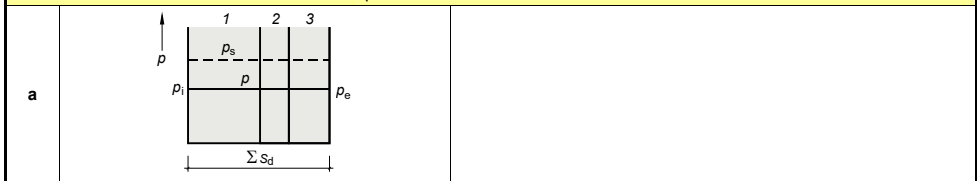
- zum Freien: $i_e = \frac{p_{sw2} - p_e}{z_e}$

Tauwassermasse in der Ebene $\nabla \nabla \nabla$
 $W_T = t_T \cdot (i_i - i_e)$

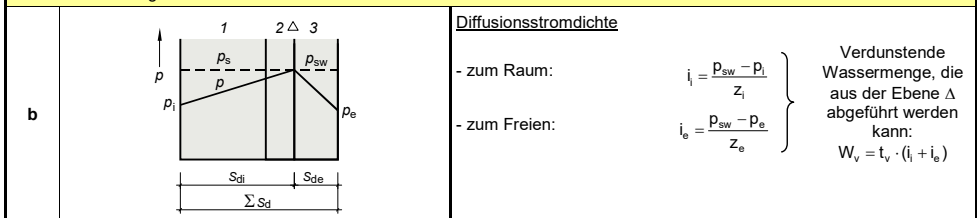
	Wasserdampfdruck P	Zeitdauer t
Verdunstungsperiode (Juni bis August)		
Wasserdampfdruck Innen- und Außenklima	1200 Pa	2160 h
Sättigungsdampfdruck im Tauwasserbereich:	1700 Pa	
<ul style="list-style-type: none"> - Wände, die Aufenthaltsräume gegen Außenluft abschließen; Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen - Verschattete Dächer oder solche mit hellen Deckungen/Abdichtungen - Unverschattete Dächer mit dunklen Deckungen/Abdichtungen, die Aufenthaltsräume gegen Außenluft abschließen 	2000 Pa	

Schematische Diffusionsdiagramme während der Verdunstungsperiode

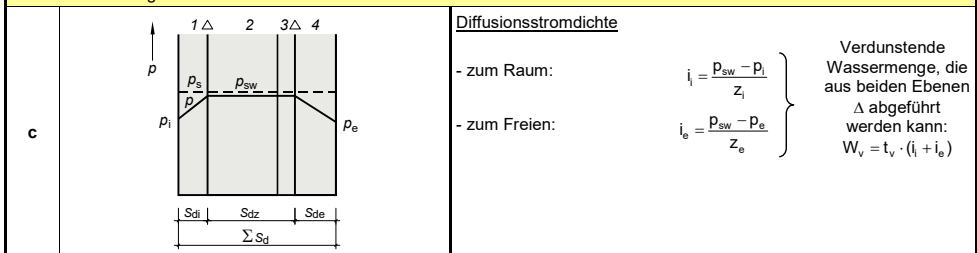
Fall a: Kein Tauwasserausfall während der Tauperiode



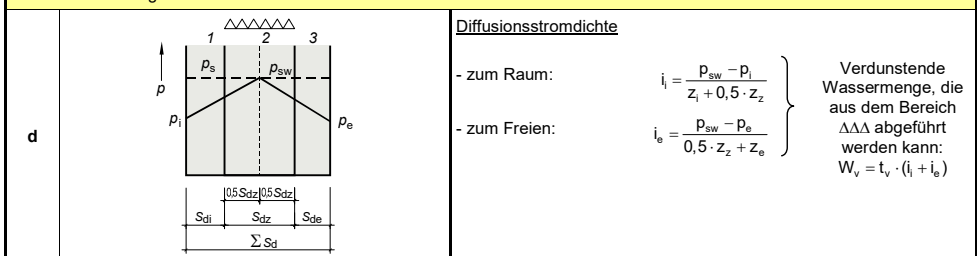
Fall b: Verdunstung aus einer Ebene



Fall c: Verdunstung aus zwei Ebenen



Fall d: Verdunstung in einem Bereich



Sättigungsdampfdruck für Wasserdampf in Luft über flüssigem Wasser bzw. über Eis in Abhängigkeit von der Temperatur (DIN 4108-3)

5-13

Temperatur °C	Sättigungsdampfdruck [Pa] für Temperaturschritte in Zentel [°C]									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
30	4241	4265	4289	4314	4339	4364	4389	4414	4439	4464
29	4003	4026	4050	4073	4097	4120	4144	4168	4192	4216
28	3778	3800	3822	3844	3867	3889	3912	3934	3957	3980
27	3563	3584	3605	3626	3648	3669	3691	3712	3734	3756
26	3359	3379	3399	3419	3440	3460	3480	3501	3522	3542
25	3166	3185	3204	3223	3242	3261	3281	3300	3320	3340
24	2982	3000	3018	3036	3055	3073	3091	3110	3128	3147
23	2808	2825	2842	2859	2876	2894	2911	2929	2947	2964
22	2642	2659	2675	2691	2708	2724	2741	2757	2774	2791
21	2486	2501	2516	2532	2547	2563	2579	2594	2610	2626
20	2337	2351	2366	2381	2395	2410	2425	2440	2455	2470
19	2196	2210	2224	2238	2252	2266	2280	2294	2308	2323
18	2063	2076	2089	2102	2115	2129	2142	2155	2169	2182
17	1937	1949	1961	1974	1986	1999	2012	2024	2037	2050
16	1817	1829	1841	1852	1864	1876	1888	1900	1912	1924
15	1704	1715	1726	1738	1749	1760	1771	1783	1794	1806
14	1598	1608	1619	1629	1640	1650	1661	1672	1683	1693
13	1497	1507	1517	1527	1537	1547	1557	1567	1577	1587
12	1402	1411	1420	1430	1439	1449	1458	1468	1477	1487
11	1312	1321	1330	1338	1347	1356	1365	1374	1383	1393
10	1227	1236	1244	1252	1261	1269	1278	1286	1295	1303
9	1147	1155	1163	1171	1179	1187	1195	1203	1211	1219
8	1072	1080	1087	1094	1102	1109	1117	1124	1132	1140
7	1001	1008	1015	1022	1029	1036	1043	1050	1058	1065
6	935	941	948	954	961	967	974	981	988	994
5	872	878	884	890	897	903	909	915	922	928
4	813	819	824	830	836	842	848	854	860	866
3	757	763	768	774	779	785	790	796	801	807
2	705	710	715	721	726	731	736	741	747	752
1	656	661	666	671	676	680	685	690	685	700
0	611	615	619	624	629	633	638	642	647	652
0	611	605	601	596	591	586	581	576	571	567
-1	562	557	553	548	544	539	535	530	526	521
-2	517	513	509	504	500	496	492	488	484	479
-3	475	471	468	464	460	456	452	448	444	441
-4	437	433	430	426	422	419	415	412	408	405
-5	401	398	394	391	388	384	381	378	375	371
-6	368	365	362	359	356	353	350	347	344	341
-7	338	335	332	329	326	323	320	318	315	312
-8	309	307	304	301	299	296	294	291	288	286
-9	283	281	278	276	274	271	269	266	264	262
-10	259	257	255	252	250	248	246	244	241	239

Anmerkung: Berechnung nach Formel und Tabellenwerte können geringfügig voneinander abweichen.

Winkelfunktionen im rechtwinkligen Dreieck

Sinus = $\frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}}$	$\sin \alpha = \frac{a}{c}$		
Cosinus = $\frac{\text{Ankkathete}}{\text{Hypotenuse}}$	$\cos \alpha = \frac{b}{c}$		
Tangens = $\frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankkathete}}$	$\tan \alpha = \frac{a}{b}$		

Berechnung nicht rechtwinkliger Dreiecke

Sinussatz			Kosinussatz	
Eine Seite und zwei Winkel bekannt	$a = \frac{b \cdot \sin \alpha}{\sin \beta}$		Zwei Seiten und ein eingeschlossener Winkel bekannt	$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma}$
Zwei Seiten und ein nicht eingeschlossener Winkel bekannt	$\alpha = \arcsin\left(\frac{\sin \beta \cdot a}{b}\right)$		Drei Seiten und kein Winkel bekannt	$\gamma = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot a \cdot b}\right)$

Prozentrechnung

$G = \frac{Pw \cdot 100\%}{p}$	$Pw = \frac{G \cdot p}{100\%}$	$p = \frac{Pw \cdot 100\%}{G}$	G = Grundwert Pw = Prozentwert p = Prozentsatz [%]
--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--

Zinsrechnung

$K = \frac{Z \cdot 100\%}{p \cdot t}$	$Z = \frac{K \cdot p \cdot t}{100\%}$	$p = \frac{Z \cdot 100\%}{K \cdot t}$	$t = \frac{Z \cdot 100\%}{K \cdot p}$	K = Kapital [€] Z = Zinsen [€] p = Zinssatz [%] t = Laufzeit [Jahre]
---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---

Geometrie

<p>Dreieck, rechtwinklig:</p> <p>$A = \frac{1}{2} \cdot c \cdot h$ $= \frac{1}{2} \cdot a \cdot b$ $h = \frac{a \cdot b}{c}$ $U = a + b + c$</p>	<p>Dreieck, schiefwinkl.:</p> <p>$A = \frac{1}{2} \cdot c \cdot h$ $= \frac{1}{2} \cdot a \cdot b \cdot \sin \gamma$ $= \frac{1}{2} \cdot a \cdot c \cdot \sin \beta$ $= \frac{1}{2} \cdot b \cdot c \cdot \sin \alpha$ $U = a + b + c$</p>	<p>Trapez:</p> <p>$A = m \cdot h$ $= \frac{a+c}{2} \cdot h$ $U = a + b + c + d$</p>
<p>Kreis:</p> <p>$A = \pi \cdot r^2$ $= \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ $U = \pi \cdot d$</p>	<p>Halbkreis:</p> <p>$A = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r^2$ $= \frac{\pi \cdot d^2}{8}$ $B = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot d$</p>	<p>Viertelkreis:</p> <p>$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot r^2$ $= \frac{\pi \cdot d^2}{16}$ $B = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d$</p>

Griechisches Alphabet

α A Alpha	ϵ E Epsilon	ι I Jota	ν N Ny	ρ P Rho	ϕ Phi Phi
β B Beta	ζ Z Zeta	κ K Kappa	ξ Xi Ksi	σ Sigma Sigma	χ X Chi
γ Gamma	η H Eta	λ Lambda	\omicron Omikron	τ T Tau	ψ Psi Psi
δ Delta	θ Theta	μ M My	π Pi Pi	υ Ypsilon	ω Omega Omega

Römische Zahlen

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	50	100	500	1000
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XX	L	C	D	M

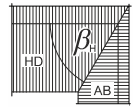
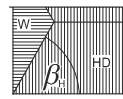
Kraft- / Masseinheiten						Zehnerpotenzen					
Kraft [N]	1	10	100	1000 (1kN)	10000 (10 kN)	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1	10^2
Masse [kg]	0,1	1	10	100	1000 (1 t)	0,001	0,01	0,1	1	10	100

1 kg entspricht exakt 9,81 N (im Bauwesen wird 9,81 auf 10 aufgerundet)

Grat-/ Kehlgrundwinkel

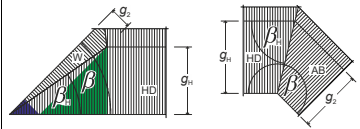
Gleichung 1:
Nur rechtwinklige, waagerechte Traufecken

$$\beta_H = \arctan \left(\frac{\tan \alpha_W}{\tan \alpha_H} \right)$$



Gleichung 2:
Beliebige Traufecken

$$\beta_H = \arctan \left(\frac{g_H}{\frac{g_H}{\tan \beta} + \frac{g_2}{\sin \beta}} \right)$$



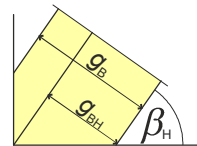
Bei Walmdächern liegen β_H und β_W zwischen waagerechter Traufe und Gratgrundlinie. Bei Winkelbauten liegen β_H und β_{AB} zwischen waagerechtem First und Kehlgrundlinie. Diese Winkel sind auch die Maschinenwinkel für den Abschnitt entlang der Schifferlotschmiege. Bei Gleichung 2 deutet ein negatives 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

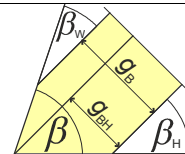
Gleichung 3:
Nur rechtwinklige, waagerechte Traufecken

$$g_{BH} = g_B \cdot \sin \beta_H \cdot \sin \beta_H$$



Gleichung 4:
Nur nicht rechtwinklige, waagerechte Traufecken

$$g_{BH} = \frac{g_B \cdot \sin \beta_H \cdot \cos \beta_W}{\sin \beta}$$

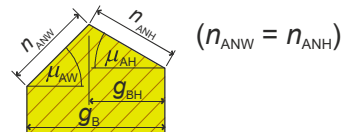


gilt nicht für



Gleichung 5:
Sonderfälle (z. B. Wintergärten)

$$g_{BH} = \frac{g_B \cdot \cos \mu_{AH}}{\cos \mu_{AH} + \cos \mu_{AW}}$$



($n_{ANW} = n_{ANH}$)

Durch die Grundverschiebung können extreme Abgratungs-/ Auskehllmaße vermieden werden. Grat- und Kehlsparrn behalten einen größeren Nettoquerschnitt.

In Gleichung 5 werden die Abgratungswinkel μ_{AH} und μ_{AW} eingesetzt, um z. B. gleich breite Glasauflager bei Wintergärten zu erhalten.

g_B = volle Grat-/ Kehlsparrnbreite

g_{BH} = abzugratende/ auszukehlende Bauteilbreite auf HD-Seite

Grat-/ Kehlneigung

Gleichung 6:
Allgemeingültige Gleichung zur Berechnung von Grat-, Kehl-, Flugsparren und Strahlenschifferneigungen

$$\alpha_G = \arctan (\tan \alpha_H \cdot \sin \beta_H)$$

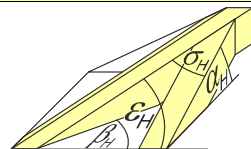


Flächenprofil/ Backenschmiege

Gleichungen 7 und 8:

$$\varepsilon_H = \arctan (\tan \beta_H : \cos \alpha_H)$$

$$\sigma_H = \arctan (\cos \alpha_H : \tan \beta_H)$$

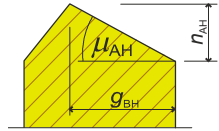


Der Flächenprofilwinkel σ_H ist der in der Dachfläche liegende Winkel zwischen waagerechter Traufe und Grat bzw. zwischen waagerechtem First und Kehllinie. Die Backenschmiege ε_H ist die Anreißschmiege für Ober- und Unterseite Schifterschnitt.

Abgratungswinkel

Gleichung 9:

$$\mu_{AH} = \arctan (\sin \alpha_G : \tan \beta_H)$$



Mit Gleichung 9 wird durch Einsetzen der Gratneigung α_G und des Grundwinkels β_H der Maschinenwinkel für die Abgratung berechnet. Er ist gleichzeitig der Maschinenwinkel für Schifterschnitte, die hochkant entlang der Backenschmiege ausgeführt werden müssen.

Abschnitts- und Kervenfluchtrisse auf Gratsparrenoberseite

Gleichung 10:

Rechtwinklig zur HD-Traufe

$$\sigma_{RH} = \arctan (\cos \alpha_G : \tan \beta_H)$$

Gleichung 11:

Maschinenwinkel für Schnitt entlang σ_{RH}

$$\mu_{RH} = \arctan (\sin \sigma_{RH} \cdot \tan \alpha_G)$$

Gleichung 12:

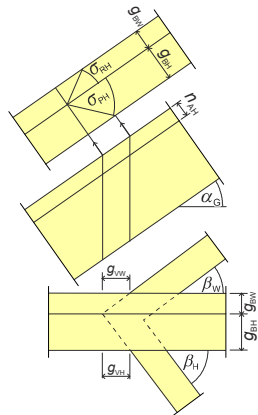
Parallel zur HD-Traufe

$$\sigma_{PH} = \arctan (\cos \alpha_G \cdot \tan \beta_H)$$

Gleichung 13:

Maschinenwinkel für Schnitt entlang σ_{PH}

$$\mu_{PH} = \arctan (\sin \sigma_{PH} \cdot \tan \alpha_G)$$



Meist werden Kerven- und Abschnittsschmiegen auf Ober- und Unterseite von Grat- und Kehlsparren mit Hilfe von Verstickmaßen angerissen. Lotrechte Abschnitte und Kerven können aber auch sehr effektiv mit dem Alpha-Winkel und den hier berechneten Fluchtrissen σ_{RH} und σ_{PH} angetragen werden. Ein Vorteil dieser Methode gegenüber der Verstickmethode ist, dass Querschnittsabweichungen ohne Auswirkung auf die Genauigkeit sind.

Hexenschnitt

Gleichung 14:

Hexenschnittwinkel zur Waagerechten

$$\gamma_1 = \arctan (\tan \tau_H \cdot \sin \beta_H)$$

Gleichung 15:

Hexenschnittwinkel zu OK Gratsparren

$$\gamma_H = \gamma_1 + \alpha_G$$

Gleichung 16:

Maschinenwinkel für Schnitt entlang γ_H

$$\mu_{HH} = \arctan (\sin \gamma_1 : \tan \beta_H)$$

Gleichung 17:

Fluchtriss auf Oberseite Gratsparren

$$\sigma_{HH} = \arctan (\sin \gamma_H : \tan \mu_{HH})$$

Gleichung 18:

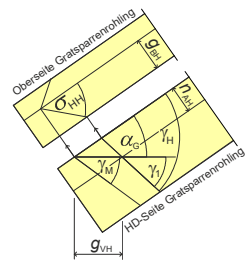
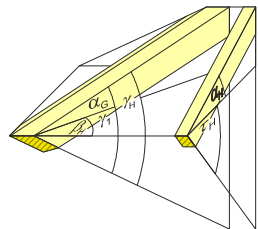
(Hexenschnittmitte) zur Waagerechten (HD- u. W-Abschnitt rechtwinklig)

$$\gamma_M = \arctan \left(\frac{\tan \tau_H \cdot \sin \beta_W}{\cos (\beta_H - \beta_W)} \right)$$

Gleichung 19:

(Hexenschnittmitte) zur Waagerechten (bei Stirnbrett: echter Hexenschnitt)

$$\gamma_M = \arctan \left(\frac{\tan \tau_H \cdot \sin 45^\circ}{\cos (\beta_H - 45^\circ)} \right)$$



Gleichungen 14-17: Berechnung für Walm-/AB-Seite analog. Gleichungen 18 und 19 sind nur bei Verjüngungsschnitten an Gratsparren erforderlich. Gleichung 19 gilt für rechtwinklige Traufecken. Nicht rechtwinklige Traufecken: Gehrungswinkel im Grund statt 45° einsetzen.

Ablaufschemen für Nachweise		8-1
Nachweis Biegeträger		Nachweis stiftförmiger Verbindungsmittel (Abscheren)
	Tafel	Tafel
1 Spannweite ermitteln (bei lichter Weite: $l \cdot 1,05$)		1 Char. Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ ablesen (ggf. Kraft-/ Faserrichtung berücksichtigen)
2 Bemessungswert der Einwirkungen berechnen (Einheit: kN/m)	1-9	2 Voraussetzungen prüfen (Holzdicken, Spaltgefahr, Eindringtiefe)
3 Schnittgrößen bestimmen	2-1	3 Bemessungswert der Tragfähigkeit $F_{v,Rd}$ berechnen
4 Bemessungswerte der Festigkeit der Baustoffseite ($f_{m,d}$ und $f_{c,d}$) berechnen	1-1,1-4	4 Verbindungsmittelanzahl n bestimmen
5 Vorbemessung durchführen: erf. I_y	3-6	5 Mindestabstände festlegen bzw. überprüfen
erf. $W_y = \max. M [kNm] \cdot 1000/ f_{m,d}$	3-1	6 Effektiv wirksame Anzahl bestimmen
6 Querschnitt auswählen	2-3	7 Gesamtragfähigkeit überprüfen/ festlegen
7 Bauteilnachweise (Biegung, Schub) durchführen	3-1	
Nachweis Querdruk		Nachweis von Ring- und Scheibendübeln
	Tafel	Tafel
1 Wirksame Querdrukfläche A_{w1} bestimmen (in Faserrichtung um bis zu 2-30 mm verlängert)	3-2	1 Char. Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ ablesen
2 Bemessungswert der Spannung der Einwirkungsseite $\sigma_{c,90,d}$ berechnen ($N_{c,90,d}/A_{w1}$)		2 Voraussetzungen prüfen (Holzdicken)
3 Bemessungswert der Festigkeit der Baustoffseite $f_{c,90,d}$ berechnen	1-1,1-4	3 Bemessungswert der Tragfähigkeit $F_{v,Rd}$ berechnen
4 Beiwert $k_{c,90}$ bestimmen	3-2	4 Verbindungsmittelanzahl n bestimmen
5 Quotient aus $\sigma_{c,90,d}$ zu $k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$ berechnen ($\leq 1,0$)	3-2	5 Mindestabstände festlegen bzw. überprüfen
		6 Effektiv wirksame Anzahl bestimmen
		7 Gesamtragfähigkeit überprüfen/ festlegen
Knicknachweis für einteilige Druckstäbe unter zent. Last		Nachweis von Zugstäben / Laschenanschluss
	Tafel	Tafel
1 Knicklänge für maßgebende Richtung (y, z) ermitteln		1 Bemessungswert der Einwirkung $F_{t,0,d}$ ermitteln
2 Trägheitsradius i für maßgeb. Richtung (y, z) bestimmen	2-3	2 Nettofläche A , berechnen
3 Schlankheit λ , für maßgebende Richtung berechnen ($\lambda \leq 150$ empfohlen)		3 Bemessungswert der Festigkeit der Widerstandsseite $f_{t,0,d}$ berechnen
4 Knickbeiwerte $k_{c,y}$ bzw. $k_{c,z}$ für die entsprechende Holzart ablesen	3-4	4 Für außenliegende Holzbauteile: Festigkeit reduzieren
5 Bemessungswert der Spannung der Einwirkungsseite $\sigma_{c,0,d}$ berechnen ($N_{c,0,d}/A_n$)		5 Bemessungswert der Spannung der Einwirkungsseite $\sigma_{t,0,d}$ berechnen ($F_{t,0,d}/A_n$)
6 Bemessungswert der Festigkeit der Baustoffseite $f_{c,0,d}$ berechnen	1-1,1-4	6 Quotient aus $\sigma_{t,0,d}$ zu $f_{t,0,d}$ berechnen ($\leq 1,0$)
7 Quotient aus $\sigma_{c,0,d}$ zu $k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}$ berechnen ($\leq 1,0$)	3-4	7 Prüfen, ob zusätzlich ausziehfeste Verbindungsmittel erforderlich werden

Formelzeichen und Fußzeiger (Auszug)			8-2
Fußzeiger (am Beispiel der Festigkeiten)	Großbuchstaben	Kleinbuchstaben (arabisch)	
f Festigkeit (firmness)	C Nadelholz (coniferous tree)	a Abstand	
f_m Biegefestigkeit (moment)	D Laubholz (deciduous tree)	b Breite	
f_t Zugfestigkeit (tension)	GL Brettschichtholz (glue laminated)	d Durchmesser	
$f_{t,0}$ Zugfestigkeit in Faserrichtung	h homogene Festigkeit (homogenous)	k_c Knickbeiwert	
$f_{t,90}$ Zugfestigkeit senkrecht zur Faserrichtung	c kombinierte Festigkeit (combined)	n_{ef} wirksame Verbindungsmittelanzahl	
f_c Druckfestigkeit (compression)	E_{mean} E-Modul (Mittelwert)	w_G Verformung infolge ständiger Einwirkung	
f_v Schubfestigkeit (vertical load)	G Schubmodul	w_Q Verformung infolge veränderlicher Einwirkung	
$f_{k, char}$ charakteristischer Wert	GR Rollschubmodul	w_0 Überhöhung im lastfreien Zustand	
f_d Bemessungswert (design)	E Einwirkung	w_{in} Enddurchbiegung	
	G: ständig, Q: veränderlich	w_{inst} Anfangsdurchbiegung	
Beiwerte	F Kraft (Force)	w_{creep} Durchbiegung infolge Kriechen	
γ_M Teilsicherheitsbeiwert Holz	R Tragwiderstand (Resistance)		
$\gamma_{Q,Q}$ Teilsicherheitsbeiwert Einwirkung	C Gebrauchstauglichkeit		
KLED Klasse der Lasteinwirkungsdauer	M Moment		
NKL Nutzungsklasse	N Normalkraft	Kleinbuchstaben (griechisch)	
k_{mod} Modifikationsbeiwert	V Querkraft	σ Normalspannung, Längsspannung	
k_{def} Verformungsbeiwert	W Widerstandsmoment	τ Schubspannung	
ψ_0 Kombinationsbeiwert	I Flächenträgheitsmoment	ρ Rohdichte	
ψ_2 Beiwert für quasi-ständigen Anteil	F_v Verbindungsmitteltragfähigkeit auf Abscheren	α Winkel zwischen Kraft und Faserrichtung	
	F_{ax} Verbindungsmitteltragfähigkeit auf Auszug	λ Schlankheitsgrad	
	k charakteristischer Wert		
	d Bemessungswert		

Stand: 06. Mai 2025

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