





- 3-1 Nachweis der Querschnittstragfähigkeit (Biegung und Schub)
- 3-2 Nachweis der Querschnittstragfähigkeit (Druck und Zug)
- 3-3 Nachweise der Stabilität (Knicken)
- 3-4 Symmetrische Zugverbindungen (vereinfachter Nachweis)
- 3-5 Gebrauchstauglichkeit – Verformungen und Schwingungen



Standardnachweise bleiben weitgehend identisch!

Einachsige Biegung

$$\frac{M_{y,d}}{W_y} \leq \frac{f_{m,d}}{f_{m,d}}$$

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 Momentes
 W_y = Widerstandsmoment um y-Achse
 $f_{m,d}$ = Bemessungswert der Biegefestigkeit

b/h [mm/mm]	VH	KVH	BSH	A	W _y	I _y	W _z	I _z	i _y	i _z	
				[cm ²] [mm ² × 10 ²]	[cm ³] [mm ³ × 10 ³]	[cm ⁴] [mm ⁴ × 10 ⁴]	[cm ³] [mm ³ × 10 ³]	[cm ⁴] [mm ⁴ × 10 ⁴]	[cm] [mm × 10]	[cm] [mm × 10]	
60	60	✓		36	36	108	36	108	1,73	1,73	
	80	✓		48	64	256	48	144	2,31		
	100	✓	✓	60	100	500	60	180	2,89		
	120	✓	✓	✓	72	144	864	72	216		3,46
	140	✓			84	196	1372	84	252		4,04
	160	✓	✓	✓	96	256	2048	96	288		4,62
	180	✓	✓		108	324	2916	108	324		5,20
	200	✓	✓		120	400	4000	120	360		5,77
	220	✓			132	484	5324	132	396		6,35
	240	✓	✓		144	576	6912	144	432		6,93



Standardnachweise bleiben weitgehend identisch!

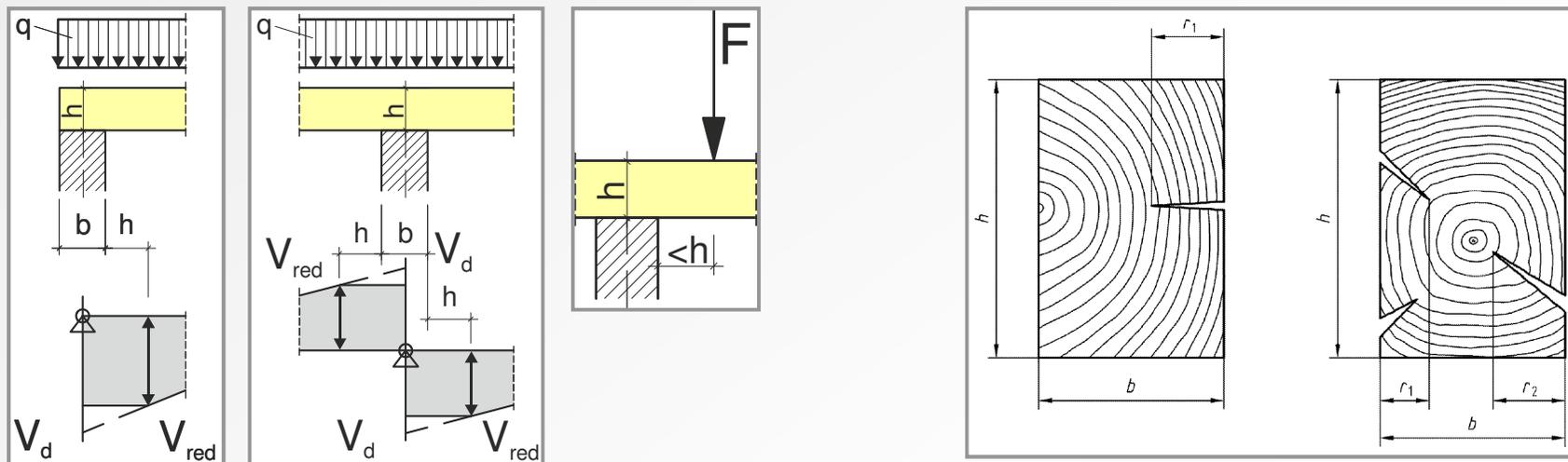
Schub aus Querkraft (für Rechteckquerschnitte)

$$\frac{1,5 \cdot V_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

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

V_d = Bemessungswert der Querkraft
 A = Querschnittsfläche des Trägers
 $f_{v,d}$ = Bemessungswert der Schubfestigkeit
 Der Faktor k_{cr} wird bei den Festigkeiten (Tabelle 1-1) berücksichtigt.

Querkraftreduzierung
 zulässig.





2-1 Maßgebende Schnittgrößen und Durchbiegungen von Krag- und Einfeldträgern

Einfeldträger mit Kragarm			
Belastungsfall	Auflagerkräfte	Biegemoment	Durchbiegung
	$A = -\frac{F \cdot c}{l}$ $B = -\frac{F \cdot (l+c)}{l}$	$M_B = -F \cdot c$ $x \leq l: M_{(x)} = A \cdot x = -\frac{F \cdot c \cdot x}{l}$	$w = \frac{F \cdot l^2}{9 \cdot E \cdot I} \cdot \frac{c}{\sqrt{3}} \quad (\text{bei } x = 0,577l)$ $f_1 = \frac{F \cdot c^2}{3 \cdot E \cdot I} \cdot (l+c)$
	$A = \frac{q}{2 \cdot l} \cdot (l^2 - c^2)$ $B = \frac{q}{2 \cdot l} \cdot (l+c)^2$	$\max. M_F = \frac{q}{8 \cdot l^2} \cdot (l^2 - c^2)^2$ $M_B = -\frac{q \cdot c^2}{2}$ $\max. M_F = M_B , \text{ wenn } c = l \cdot (\sqrt{2} - 1)$	$w = \frac{q \cdot l^2}{384 \cdot E \cdot I} \cdot (5 \cdot l^2 - 12c^2)$ <p>(bei $x = \frac{l}{2}$)</p> $w_1 = \frac{q \cdot c}{24 \cdot E \cdot I} \cdot [c^2 \cdot (4l + 3c) - l^3]$
	$A = B = F$	$M_A = M_B = -F \cdot c$	$w = \frac{F \cdot l^2 \cdot c}{8 \cdot E \cdot I} \quad (\text{bei } x = \frac{l}{2})$ $w_1 = \frac{F \cdot c^2}{3 \cdot E \cdot I} \cdot (c + \frac{3 \cdot l}{2})$
	$A = B = \frac{q}{2} \cdot (l + 2 \cdot c)$	$M_A = M_B = -\frac{q \cdot c^2}{2}$ $M_F = \frac{q \cdot l^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{4} - \frac{c^2}{l^2} \right)$ $\max. M_F = M_A = \pm \frac{q \cdot l^2}{16},$ <p>wenn $c = 0,3535 \cdot l$</p>	$w = \frac{q \cdot l^4}{16 \cdot E \cdot I} \cdot \left(\frac{5}{24} - \frac{c^2}{l^2} \right)$ $w_1 = \frac{q \cdot l^4}{24 \cdot E \cdot I} \cdot \left[3 \cdot \frac{c^4}{l^4} + 6 \cdot \frac{c^3}{l^3} - \frac{c}{l} \right]$

2-2 Maßgebende Schnittgrößen und Durchbiegungen von Durchlaufträgern

Kräfte: $-q \cdot l$		Laststellung g, s, w	Kräfte: $-q \cdot l$		Laststellung q
Momente: $-q \cdot l^2$			Momente: $-q \cdot l^2$		
Senkung: $-q_k \cdot l^4 / EI$		Zweifeldträger			
A	0,375		max. A	0,438	
B	1,250		max. B	1,250	
$V_{B,li}$	-0,625		min. $V_{B,li}$	-0,625	
M_B	-0,125		min. M_B	-0,125	
M_1	0,070		max. M_1	0,096	
w_1	54200		w_1	91500	



2-3 Holzquerschnitte und statische Kennwerte

b/h [mm/mm]	VH	KVH	BSH	A [cm ²] [mm ² × 10 ²]	W _y [cm ³] [mm ³ × 10 ³]	I _y [cm ⁴] [mm ⁴ × 10 ⁴]	W _z [cm ³] [mm ³ × 10 ³]	I _z [cm ⁴] [mm ⁴ × 10 ⁴]	i _y [cm] [mm × 10]	i _z [cm] [mm × 10]
60	✓			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	

2-4 Lotrechte Nutzlasten für Decken, Treppen und Balkon

2-5 Eigenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen

Flächenlasten			
Gegenstand	Flächenlast	Gegenstand	Flächenlast
Fußboden- und Wandbelägen			
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	0,01 kN/m ² /cm	Schaumkunststoff	0,01 kN/m ² /cm
Holzwole-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		Abdichtung	

Eigenlast einer Deckenkonstruktion

1 Zementestrich, d = 50 mm	
2 Trennlage	
3 Trittschalldämmung, d = 25/20 mm	
4 Betonsteinbeschwerung, d = 40 mm	
5 Verklebung (z. B. mit Flex-Fliesenkleber)	
6 Massivholzplatte, d = 22 mm	
7 Deckenbalken, 100 × 200 mm, e = 0,7 m	

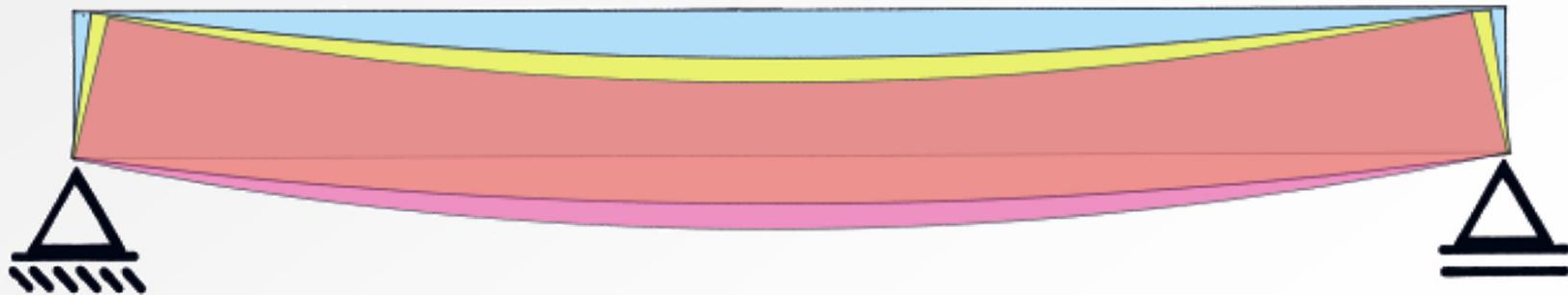
1 Zementestrich:	$0,22 \text{ kN}/(\text{m}^2 \times \text{cm}) \times 5 \text{ cm}$	= 1,10 kN/m ²
2 Trennlage:		/
3 Trittschalldämmung:	$0,01 \text{ kN}/(\text{m}^2 \times \text{cm}) \times 2,5 \text{ cm}$	= 0,03 kN/m ²
4 Beschwerung:	$0,24 \text{ kN}/(\text{m}^2 \times \text{cm}) \times 4 \text{ cm}$	= 0,96 kN/m ²
5 Verklebung:		/
6 Massivholzplatte:	$7,0 \text{ kN}/\text{m}^3 \times 0,022 \text{ m}$	= 0,15 kN/m ²
7 Deckenbalken:	$4,2 \text{ kN}/\text{m}^3 \times 0,1 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 1/0,7 \text{ m}$	= 0,12 kN/m ²
		<u>2,36 kN/m²</u>



Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Verformungen (ohne Überhöhung)

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





Gebrauchstauglichkeit

Nachweise haben sich stark geändert.

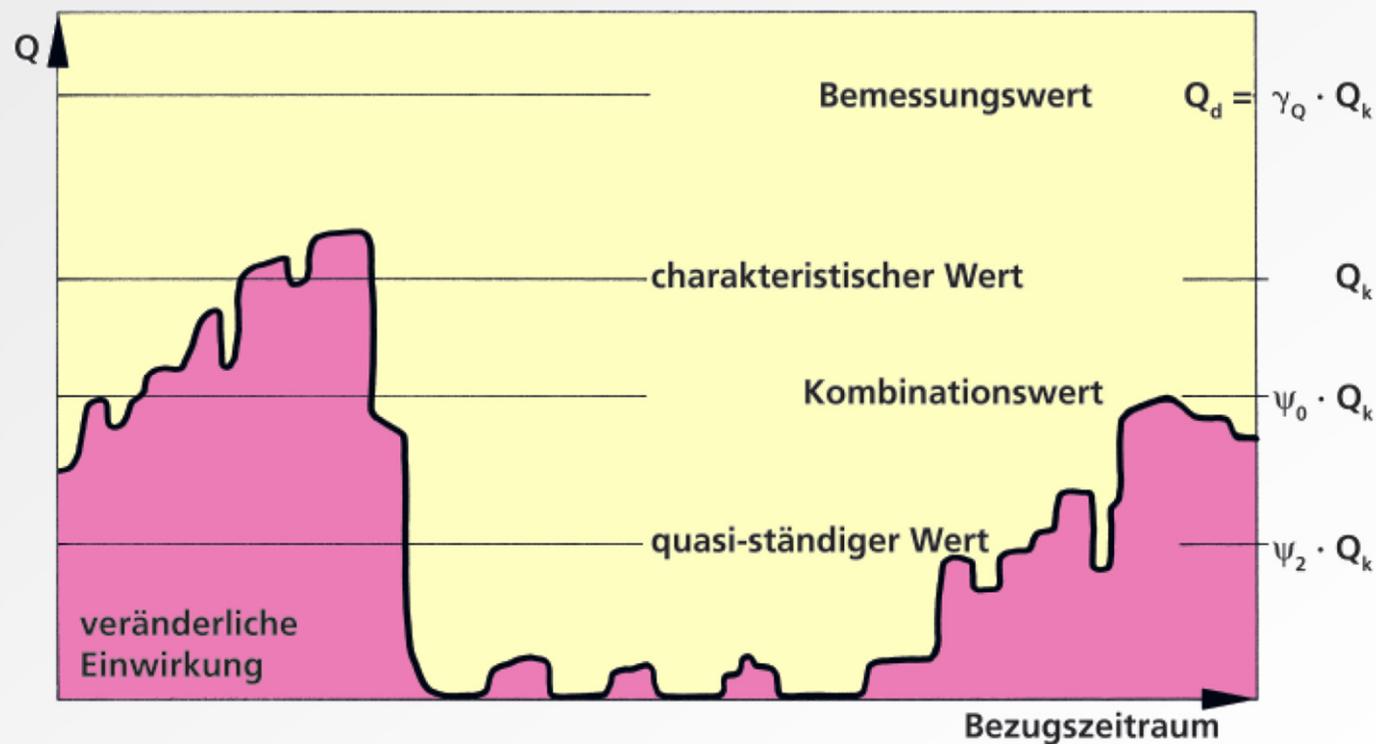
- Eigen- und Nutzlasten sind zwingend zu unterscheiden
- Es sind verschiedene Bemessungssituationen zu unterscheiden
- In diesen Bemessungssituationen sind drei Nachweise durchzuführen
- **Die Grenzwerte haben lediglich empfehlenden Charakter!**



Bemessungssituationen

Anfangsverformung - charakteristische Kombination

Endverformung - charakteristische Kombination
- quasi-ständige Situation





Zeitabhängige Verformungen

- Kriechen des Holzes muss im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt werden.
- Kriechen wird durch den Verformungsbeiwert k_{def} berücksichtigt.

	Vollholz, ¹⁾²⁾ Brettschichtholz, Furnierschichtholz LVL (Furniere faserparallel), Balkenschichtholz, ³⁾ Brettsperrholz, ³⁾ Massivholzplatten ³⁾	Sperrholz ⁴⁾ Furnierschicht- holz LVL, (mit Querfurnieren)	Spanplatten (kunstharz und zementgebunden), OSB-Platten, Holzfaserplatten (hart und MDF)		Holzfaserplatten MBH.LA1 o. 2 ⁵⁾ , MBH.HLS1 o. 2	Gipsplatten GKB ⁵⁾ , GKF ⁵⁾ , GKBI, GKFI, Gipsfaserplatten
NKL			P4 ⁵⁾ , P5, ZSP, OSB/2 ⁵⁾ HB.LA ⁵⁾ HB.HLA1 o. 2 MDF.LA ⁵⁾ MDF.HLS	P6 ⁵⁾ , P7 OSB/3 o. /4		
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) Nur zulässig in NKL 1 und 2

4) Technische Klasse „Trocken“ nur für NKL 1, „Feucht“ für NKL 1 und 2, „Außen“ für alle NKL

5) Nur zulässig in NKL 1



Grenzwerte der Verformungen

Nachweise und Grenzwerte für Durchbiegungen¹⁾

Anfangsverformung

Verschärfung gegenüber DIN 1052:2008!

Elastische Durchbiegung (charakteristische Kombination)

$w_{inst} \leq l/300$ bis $l/500$ (Empfehlung $l/300$)²⁾

$$w_{inst} = w_{G,inst} + w_{Q,1,inst} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot w_{Q,i,inst} \leq l/300$$

Endverformung

Verschärfung gegenüber DIN 1052:2008!

Charakteristische Kombination

$w_{fin} \leq l/150$ bis $l/300$ (Empfehlung $l/200$)²⁾

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

Quasi ständige Kombination

$w_{net,fin} = w_{fin} - w_0 \leq l/250$ bis $l/350$ (Empfehlung $l/300$)²⁾

$$(w_{G,inst} + \psi_2 \times w_{Q,inst}) \times (1 + k_{def}) - w_0 \leq l/300$$



Grenzwerte der Verformungen

Nachweise und Grenzwerte für Durchbiegungen¹⁾

Anfangsverformung

Elastische Durchbiegung (charakteristische Kombination)

$w_{inst} \leq l/300$ bis $l/500$ (Empfehlung $l/300$)²⁾

$$w_{inst} = w_{G,inst} + w_{Q,1,inst} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot w_{Q,i,inst} \leq l/300$$

Endverformung

Charakteristische Kombination

$w_{fin} \leq l/150$ bis $l/300$ (Empfehlung $l/200$)²⁾

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

Quasi ständige Kombination

$w_{net,fin} = w_{fin} - w_0 \leq l/250$ bis $l/350$ (Empfehlung $l/300$)²⁾

$$(w_{G,inst} + \psi_2 \times w_{Q,inst}) \times (1 + k_{def}) - w_0 \leq l/300$$

Vereinfachte Nachweise für Einfeldträger³⁾

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

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

$$\text{Erf. } I_y^{3)} = 35,5 \cdot (1,6 g_k + 0,48 q_k) \cdot l^3$$



Schwingungsnachweis

Gehbewegungen auf Decken unter bewohnten Räumen führen zu Schwingungen.

Diese können

- die Gebrauchstauglichkeit beeinträchtigen (z. B. Aussetzer von Festplatten oder CD-/DVD-Laufwerken)
- bei den Bewohnern selbst zu Unbehagen führen können.

Diese Schwingungen sind daher zu beschränken.





Schwingungsnachweis

Der EC5 sieht dafür drei Nachweise vor:

- Einhaltung einer Eigenfrequenz über 8 Hz (für ständige Einwirkungen)
- Beschränkung der Durchbiegungen infolge einer konzentrierten Einzellast
- Einhaltung einer definierten Schwinggeschwindigkeit





Schwingungsnachweis



Schlussbericht zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWA über die



geförderten IGF-Forschungsvorhaben

Schwingungstechnische Optimierung von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken:

Entwicklung von Bemessungs- und Konstruktionsregeln auf der Grundlage eines kalibrierten FEM-Modells und unter Berücksichtigung des Dissipations-Potentials unterschiedlicher Deckenaufbauten

Kurztitel:

Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken

Englisch:

Floor vibrations of timber floors and timber composite systems

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter, Prof. Dr.-Ing. Patricia Hamm, Dipl.-Ing. Antje Richter,
Technische Universität München,
Institut für Baustoffe und Konstruktion, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion

Voraussetzung zur Anwendung:

- Decke mit Nassestrich
- Trockenestrich mit schwerer Schüttung (Flächengewicht $\geq 60 \text{ kg/m}^2$).

Decke innerhalb einer Nutzungseinheit

- Eigenfrequenz $\geq 6 \text{ Hz}$
- Durchbiegungsbeschränkung 1 mm

Decke zwischen verschiedenen Nutzungseinheiten

- Eigenfrequenz $\geq 8 \text{ Hz}$
- Durchbiegungsbeschränkung 0,5 mm



Schwingungsnachweis

Einfeldträger (innerhalb einer Nutzungseinheit)

$$\text{Erf. } I_y = 126 \times I^3 \text{ (NH C24)}$$

Einfeldträger (zwischen fremden Nutzungseinheiten)

$$\text{Erf. } I_y = 252 \times I^3 \text{ (NH C24)}$$

Schwingungsnachweis			
Innerhalb einer Nutzungseinheit			
Eigenfrequenz ≥ 6 Hz:	$W_{G,inst} \leq 8,7$ mm	$\text{Erf. } I_y^{(3)} = 13,61 \cdot (g_k) \cdot I^4$	
Durchbiegungsbeschränkung Mannlast:	$w \leq 1,5$ mm	$\text{Erf. } I_y^{(3/4)} = 126 \cdot I^3$	(in der Regel bemessungsrelevant)
Zwischen fremden Nutzungseinheiten			
Eigenfrequenz ≥ 8 Hz:	$W_{G,inst} \leq 4,9$ mm	$\text{Erf. } I_y^{(3)} = 24,16 \cdot (g_k) \cdot I^4$	
Durchbiegungsbeschränkung Mannlast:	$w \leq 0,75$ mm	$\text{Erf. } I_y^{(3)} = 252 \cdot I^3$	(in der Regel bemessungsrelevant)



Ablaufschema

Nachweis Biegeträger	Tafel
1 Spannweite ermitteln (vereinfacht: $1,05 \times$ lichte Weite)	
2 Bemessungswert der Einwirkungen berechnen (Einheit: kN/m)	1-8a
3 Schnittgrößen bestimmen	2-1/2-2
4 Bemessungswerte der Festigkeit der Baustoffseite ($f_{m,d}$ und $f_{v,d}$) berechnen	1-1
5 Vorbemessung durchführen; erf. $W_y = \max. M \text{ [kNm]} \times 1000 / f_{m,d}$, erf. I_y entsprechend Tafel 3-5	3-1/3-5
6 Querschnitt auswählen	2-3
7 Bauteilnachweise (Biegung, Schub) durchführen	3-1

5 Bemessungsbeispiel Deckenbalken

Eingangsgrößen

Material: NH C24
 Spannweite: $l = 4,2 \text{ m}$
 Balkenabstand: $e = 0,7 \text{ m}$
 Einwirkungen: Eigenlast $g_k = 1,6 \text{ kN/m}^2$
 Nutzlast $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$
 Nutzungsklasse 1, KLED = mittel
 Decke innerhalb einer Nutzungseinheit,
 Aufbau mit Nassestrich

Bemessungswert der Einwirkungen

$$\begin{aligned} g_d &= 1,6 \text{ kN/m}^2 \times 0,7 \text{ m} &&= 1,12 \text{ kN/m} \\ q_d &= 2,0 \text{ kN/m}^2 \times 0,7 \text{ m} &&= 1,40 \text{ kN/m} \\ E_d &= 1,35 \times 1,12 \text{ kN/m} + 1,5 \times 1,4 \text{ kN/m} &&= 3,61 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Bemessungswert der Schnittgrößen

$$\begin{aligned} \max. M_d &= \frac{q \times l^2}{8} = \frac{3,61 \text{ kN/m} \times (4,2 \text{ m})^2}{8} &&= 7,96 \text{ kNm} \\ \max. V_d &= \frac{q \times l}{2} = \frac{3,61 \text{ kN/m} \times 4,2 \text{ m}}{2} &&= 7,58 \text{ kNm} \end{aligned}$$

↳ zul. Abminderung der Querkraft bei Querdruck wird vernachlässigt

Bemessungswert der Baustofffestigkeiten

$$\begin{aligned} f_{m,d} &= 24 \text{ N/mm}^2 \times \frac{0,8}{1,3} &&= 14,77 \text{ N/mm}^2 \\ f_{v,d} &= 2,0 \text{ N/mm}^2 \times \frac{0,8}{1,3} &&= 1,23 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Vorbemessung

$$\begin{aligned} \text{erf. } W_y &= \frac{7,96 \text{ kNm} \times 1000}{14,77 \text{ N/mm}^2} &&= 539 \text{ cm}^3 \\ \text{erf. } I_{y,\text{Steifigkeit}} &= 126 \times (4,2 \text{ m})^3 &&= 9.335 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

10/24 NH C24, A = 240 cm², W_y = 960 cm³, I_y = 11.520 cm⁴

5 Bemessungsbeispiel Deckenbalken

Eingangsgrößen

Material: NH C24
Spannweite: $l = 4,2 \text{ m}$
Balkenabstand: $e = 0,7 \text{ m}$
Einwirkungen: Eigenlast $g_k = 1,6 \text{ kN/m}^2$
Nutzlast $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$
Nutzungsklasse 1, KLED = mittel
Decke innerhalb einer Nutzungseinheit,
Aufbau mit Nassestrich

Nachweise

Biegespannung:

$$\frac{7,96 \text{ kNm} \times 1000}{960 \text{ cm}^3} = 8,30 \text{ N/mm}^2$$
$$\frac{8,30 \text{ N/mm}^2}{14,77 \text{ N/mm}^2} = 0,56 < 1,0 \checkmark$$

Schubspannung:

$$\frac{1,5 \times 7,58 \text{ kN} \times 10}{240 \text{ cm}^2} = 3,79 \text{ N/mm}^2$$
$$\frac{3,79 \text{ N/mm}^2}{1,23 \text{ N/mm}^2} = 0,39 < 1,0 \checkmark$$

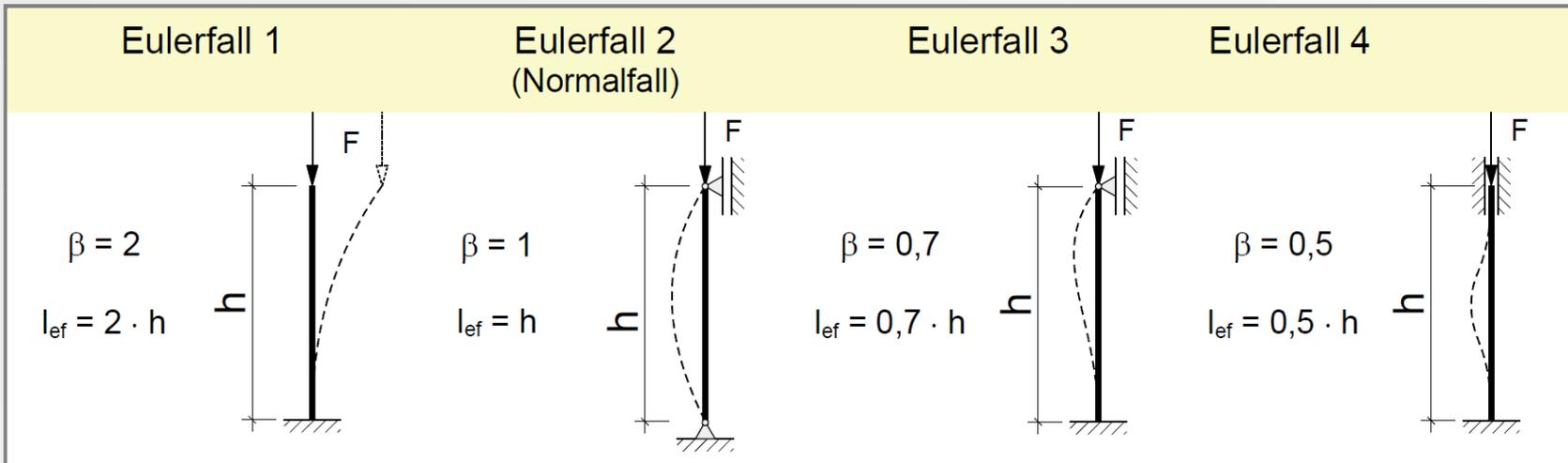


Knicken

Biegeknicken von Druckstäben

$$\frac{F_{c,0,d}}{A} \leq k_c \cdot f_{c,0,d}$$

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



b/h [mm/mm]	VH	KVH	BSH	A [cm ²] [mm ² × 10 ²]	W _y [cm ³] [mm ³ × 10 ³]	I _y [cm ⁴] [mm ⁴ × 10 ⁴]	W _z [cm ³] [mm ³ × 10 ³]	I _z [cm ⁴] [mm ⁴ × 10 ⁴]	i _y [cm] [mm × 10]	i _z [cm] [mm × 10]
60	✓			36	36	108	36	108	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	1,73



Knicken

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



Ablaufschema

Knicknachweis für einteilige Druckstäbe unter zentrischer Last	Tafel
1 Knicklänge für beide Richtungen (y und z) bestimmen	
2 Trägheitsradien i für beide Richtungen (y und z) ermitteln	2-3
3 Schlankheit λ für beide Richtungen berechnen, der größere Wert ist maßgebend ($\lambda \leq 150$ empfohlen)	3-3
4 Knickbeiwerte $k_{c,y}$ bzw. $k_{c,z}$ für die entsprechende Holzart ablesen	3-3
5 Bemessungswert der Spannung der Einwirkungsseite $\sigma_{c,0,d}$ berechnen ($N_{c,d}/A_n$)	
6 Bemessungswert der Festigkeit der Baustoffseite $f_{c,0,d}$ berechnen	1-1
7 Quotient aus $\sigma_{c,0,d}$ zu $k_c \cdot f_{c,0,d}$ berechnen ($\leq 1,0$)	3-3

5 Bemessungsbeispiel Stütze (Knicknachweis)

Eingangsgrößen

Stütze:

Material: NH C24
Abmessungen: 120/120 mm
Länge: 350 cm

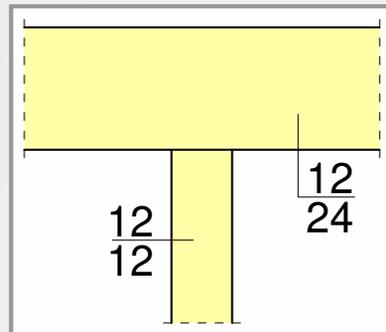
Unterzug:

Material: GL 24h
Abmessungen: 120/320 mm

Einwirkungen:

Eigenlast g_K : 18 kN
Nutzlast q_K : 20 kN

Nutzungsklasse 1, KLED =mittel



Bemessungswert der Einwirkungen

$$E_d = 1,35 \times 18 \text{ kN} + 1,5 \times 20 \text{ kN} = 54,3 \text{ kN}$$

Schlankheit

$$l_{ef} = 350 \text{ cm}$$

$$i = 0,289 \times 12 = 3,46 \text{ cm}$$

$$\lambda = l_{ef}/i = 350 \text{ cm} / 3,46 \text{ cm} = 101$$

$$k_c = 0,300$$

Bemessungswert der Baustofffestigkeit

$$f_{c,0,d} = 21 \text{ N/mm}^2 \times \frac{0,8}{1,3} = 12,92 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{54.300 \text{ N}}{120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}} = 3,77 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{3,77 \text{ N/mm}^2}{0,3 \times 12,92 \text{ N/mm}^2} = 0,97 < 1,0 \checkmark$$



Querpressung

Druck rechtwinklig zur Faser

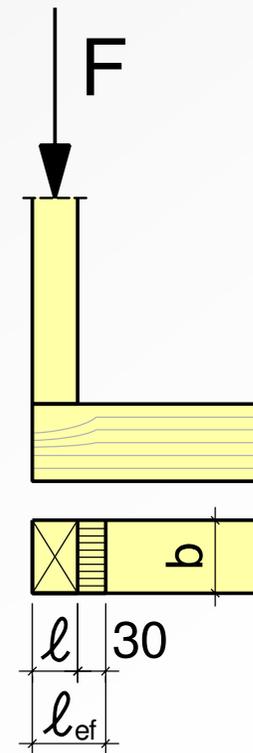
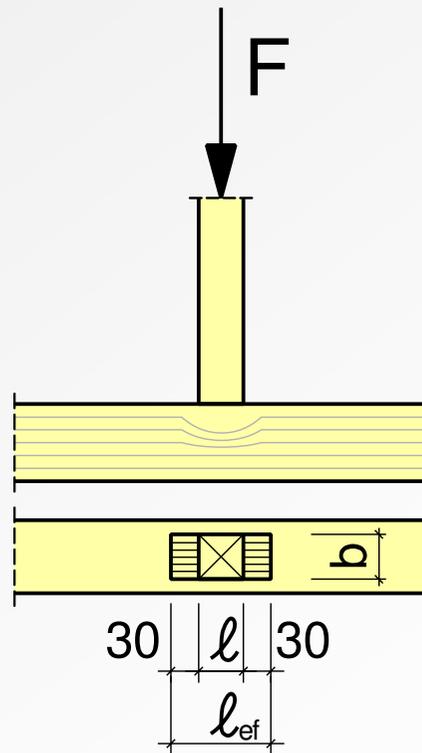
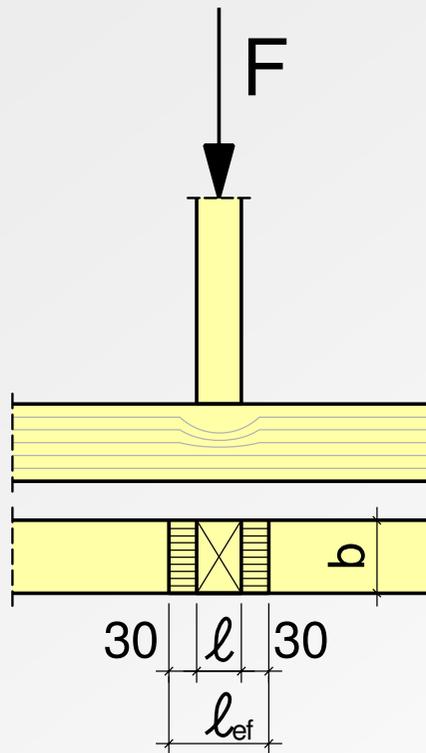
$$\frac{F_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot A_{ef} \cdot f_{c,90,d}} \leq 1$$

$F_{c,90,d}$ = 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

$k_{c,90}$ = Beiwert





Querpressung

Druck rechtwinklig zur Faser

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

$F_{c,90,d}$ = 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

$k_{c,90}$ = Beiwert

Baustoff	Beiwert $k_{c,90}$			
	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

Auflagerdruck

Schwellendruck



Ablaufschema

Nachweis Querdruck	Tafel
1 Wirksame Querdruckfläche A_{ef} bestimmen (in Faserrichtung um bis zu 2×30 mm verlängert)	3-2
2 Bemessungswert der Spannung der Einwirkungsseite $\sigma_{c,90,d}$ berechnen ($N_{c,90,d}/A_{ef}$)	
3 Bemessungswert der Festigkeit der Baustoffseite $f_{c,90,d}$ berechnen	1-1
4 Beiwert $k_{c,90}$ bestimmen	3-2
5 Quotient aus $\sigma_{c,90,d}$ zu $k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$ berechnen ($\leq 1,0$)	3-2

5 Bemessungsbeispiel

Eingangsgrößen

Stütze:

Material: NH C24
Abmessungen: 120/120 mm
Länge: 350 cm

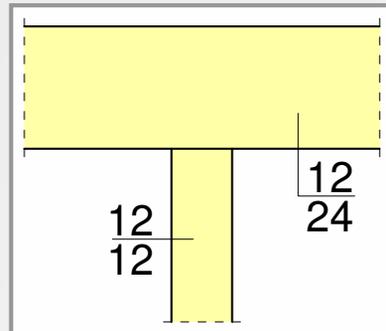
Unterzug:

Material: GL 24h
Abmessungen: 120/320 mm

Einwirkungen:

Eigenlast g_k : 18 kN
Nutzlast q_k : 20 kN

Nutzungsklasse 1, KLED =mittel



Bemessungswert der Einwirkungen

$$E_d = 1,35 \times 18 \text{ kN} + 1,5 \times 20 \text{ kN} = 54,3 \text{ kN}$$

Wirksame Fläche

$$A_{ef} = 120 \text{ mm} \times (120 \text{ mm} + (2 \times 30 \text{ mm})) = 21.600 \text{ mm}^2$$

Bemessungswert der Baustofffestigkeit

$$f_{c,90,d} = 2,7 \text{ N/mm}^2 \times \frac{0,8}{1,3} = 1,66 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{54.300 \text{ N}}{21.600 \text{ mm}^2} = 2,51 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{c,90} = 1,75$$

$$\frac{2,51 \text{ N/mm}^2}{1,75 \times 1,66 \text{ N/mm}^2} = 0,86 < 1,0 \checkmark$$



Querpressung (nicht rechtwinklig)

Druck unter einem Winkel

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

$F_{c,\alpha,d}$ = 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

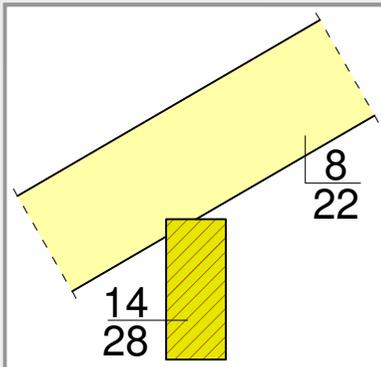
Druckfestigkeit $f_{c,\alpha,k}$								
α	Schwellendruck				Auflagerdruck			
	C24	C30	GL24h	GL28h	C24	C30	GL24h	GL28h
0	21,00	23,00	24,00	26,50	21,00	23,00	24,00	26,50
10	17,91	19,57	20,90	23,10	18,44	20,16	21,37	23,62
20	12,58	13,69	15,23	16,86	13,65	14,86	16,25	17,98
30	8,64	9,37	10,76	11,93	9,77	10,60	11,88	13,17
40	6,24	6,76	7,91	8,77	7,24	7,84	8,94	9,92
50	4,82	5,21	6,17	6,85	5,68	6,14	7,07	7,85
60	3,97	4,29	5,11	5,68	4,72	5,10	5,91	6,57
70	3,47	3,75	4,49	4,98	4,15	4,48	5,21	5,79
80	3,21	3,46	4,15	4,62	3,85	4,15	4,84	5,38
90 ¹⁾	3,13	3,38	4,05	4,50	3,75	4,05	4,73	5,25

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

5 Bemessungsbeispiel Querpressung

Eingangsgrößen

Sparren:	80/240 mm, NH C24
Pfette:	140/280 mm, GL 24h
Dachneigung:	30°
Kerventiefe:	30 mm
Einwirkungen:	
Eigenlast g_k :	3,0 kN
Schneelast s_k :	2,1 kN ($\leq 1000\text{m}$ über NN)



Nachweise der Pfette

Wirksame Fläche

$$l_{ef} = 30 \text{ mm} / \sin 30^\circ = 60 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = 60 \text{ mm} \times (80 \text{ mm} + 2 \times 30 \text{ mm}) = 8.400 \text{ mm}^2$$

Bemessungswert der Baustofffestigkeit

$$f_{c,90,d} = 2,7 \text{ N/mm}^2 \times \frac{0,9}{1,3} = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{7.200 \text{ N}}{8.400 \text{ mm}^2} = 0,86 \text{ N/mm}^2$$

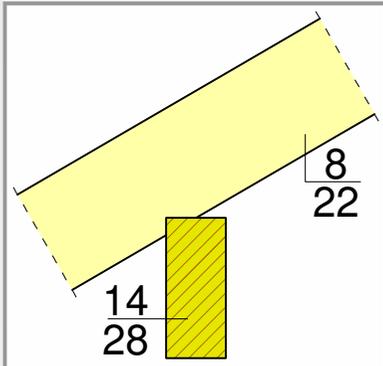
$$k_{c,90} = 1,75$$

$$\frac{0,86 \text{ N/mm}^2}{1,75 \times 1,87 \text{ N/mm}^2} = 0,26 < 1,0 \checkmark$$

5 Bemessungsbeispiel Querpressung

Eingangsgrößen

Sparren:	80/240 mm, NH C24
Pfette:	140/280 mm, GL 24h
Dachneigung:	30°
Kervertiefe:	30 mm
Einwirkungen:	
Eigenlast g_k :	3,0 KN
Schneelast s_k :	2,1 KN ($\leq 1000\text{m}$ über NN)



Bemessungswert der Einwirkungen

$$E_d = 1,35 \times 3,0 \text{ KN} + 1,5 \times 2,1 \text{ KN} = 7,2 \text{ KN}$$

Nachweise der Sparren

Wirksame Fläche

$$l_{ef} = 80 \text{ mm} + 2 \times (30 \text{ mm} \times \cos 30^\circ) = 112 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = 80 \text{ mm} \times 112 \text{ mm} = 8.960 \text{ mm}^2$$

Bemessungswert der Baustofffestigkeit

$$f_{c,60,d} = 4,72 \text{ N/mm}^2 \times \frac{0,9}{1,3} = 3,27 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\sigma_{c,60,d} = \frac{7.200 \text{ N}}{8.960 \text{ mm}^2} = 0,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{0,80 \text{ N/mm}^2}{3,27 \text{ N/mm}^2} = 0,24 < 1,0 \checkmark$$



Versätze

	Nachweis / (Tragfähigkeit)	Vorholzlänge l_v
Stirnversatz (S)	$\frac{S_d}{b \cdot t_v \cdot f_{c,0,d} \cdot k_S} \leq 1$ <p>($R_{S,d} = b \cdot t_v \cdot f_{c,0,d} \cdot k_S$)</p>	$l_v \geq \frac{S_d \cdot \cos \alpha}{b \cdot f_{v,d}}$ $20 \text{ cm} \leq l_v \leq 8 t_v$
Fersenversatz (F)	$\frac{S_d}{b \cdot t_v \cdot f_{c,0,d} \cdot k_F} \leq 1$ <p>($R_{F,d} = b \cdot t_v \cdot f_{c,0,d} \cdot k_F$)</p>	$l_v \geq \frac{S_d \cdot \cos \alpha}{b \cdot f_{v,d}}$ $20 \text{ cm} \leq l_v \leq 8 t_v$



Versätze

(NA.3) Abweichend von 6.2.2 darf für die Druckspannungen in der Stirnfläche des Versatzes folgender Nachweis geführt werden:

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} \leq 1 \quad (NA.150)$$

Dabei ist

$$\sigma_{c,\alpha,\alpha} = \frac{F_{c,\alpha,Ed}}{A} \quad (NA.151)$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{v,d}} \sin \alpha \cdot \cos \alpha\right)^2 + \cos^4 \alpha}} \quad (NA.152)$$



Versätze

Beiwerte für Nadelholz C24										
α	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
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

$$k_S = \frac{1}{\cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{c,90,d}} \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot 2 \cdot f_{v,d}} \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)^2} + \cos^4\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

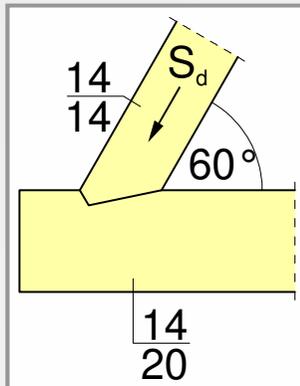
$$k_F = \frac{1}{\cos \alpha \sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot 2 \cdot f_{v,d}} \sin \alpha \cdot \cos \alpha\right)^2} + \cos^4 \alpha}$$

Max. Versatztiefe t_v	
$\alpha \leq 50^\circ$	$t_v \leq \frac{h}{4}$
$50^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	$t_v \leq \frac{h}{4} \cdot \left(1 - \frac{\alpha - 50}{30}\right)$
$\alpha > 60^\circ$	$t_v \leq \frac{h}{6}$
Doppelter Versatz: $t_{v2} \leq 0,8 t_{v1}$ $t_{v2} \leq t_{v1} - 1,0 \text{ cm}$	

5 Bemessungsbeispiel Stirnversatz

Eingangsgrößen

Material:	NH C24
Abmessungen:	
Strebe	140/140 mm
Schwelle	140/200 mm
Strebenneigung:	60 °
Einwirkungen:	
Eigenlast g_k :	12 KN
Windlast w_k :	16 KN
Nutzungsklasse 1, KLED = kurz	



Bemessungswert der Einwirkungen

$$E_d = 1,35 \times 12 \text{ KN} + 1,5 \times 16 \text{ KN} = 40,2 \text{ KN}$$

Einschnitttiefe

$$t_v \leq 200 \text{ mm} / 4 \times \left(1 - \frac{60^\circ - 50^\circ}{30} \right) = 33,3 \text{ mm}$$

gewählt: 30 mm

Bemessungswert der Baustofffestigkeiten

$$f_{c,0,d} = 21 \text{ N/mm}^2 \times \frac{0,9}{1,3} = 14,54 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 2 \text{ N/mm}^2 \times \frac{0,9}{1,3} = 1,38 \text{ N/mm}^2$$

Vorholzlänge

$$l_v \geq \left(\frac{40,200 \text{ N} \times \cos 60^\circ}{140 \text{ mm} \times 1,38 \text{ N/mm}^2} \right) = 104 \text{ mm}$$

gewählt: 120 mm

Nachweis

$$b = 140 \text{ mm}$$

$$t_v = 30 \text{ mm}$$

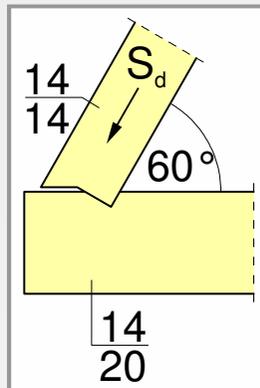
$$k_{s,60} = 0,667$$

$$\frac{40,200 \text{ N}}{140 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 14,54 \text{ N/mm}^2 \times 0,667} = 0,99 < 1,0 \checkmark$$

5 Bemessungsbeispiel Fersenversatz

Eingangsgrößen

Material:	NH C24
Abmessungen:	
Strebe	140/140 mm
Schwelle	140/200 mm
Strebenneigung:	60 °
Einwirkungen:	
Eigenlast g_K :	10 KN
Windlast $q_{w,K}$:	14 KN
Nutzungsstufe	1, KLED = kurz



Bemessungswert der Einwirkungen

$$E_d = 1,35 \times 10 \text{ KN} + 1,5 \times 14 \text{ KN} = 34,5 \text{ KN}$$

Einschnitttiefe

$$t_v \leq 200 \text{ mm} / 4 \times \left(1 - \frac{60^\circ - 50}{30} \right) = 33,3 \text{ mm}$$

gewählt: 30 mm

Bemessungswert der Baustofffestigkeiten

$$f_{c,0,d} = 21 \text{ N/mm}^2 \times \frac{0,9}{1,3} = 14,54 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 2 \text{ N/mm}^2 \times \frac{0,9}{1,3} = 1,38 \text{ N/mm}^2$$

Vorholzlänge

$$l_v \geq \left(\frac{34.500 \text{ N} \times \cos 60^\circ}{140 \text{ mm} \times 1,38 \text{ N/mm}^2} \right) = 89,3 \text{ mm}$$

gewählt: 100 mm

Nachweis

$$b = 140 \text{ mm}$$

$$t_v = 30 \text{ mm}$$

$$k_{F,60} = 0,570$$

$$\frac{34.500 \text{ N}}{140 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 14,54 \text{ N/mm}^2 \times 0,570} = 0,99 < 1,0 \checkmark$$