

Übungen Holzbau I Lösungen



DIN EN 1995-1-1 Eurocode 5:2010-12
DIN EN 1995-1-1 Nationaler Anhang:2013-08
DIN EN 1995-1-1/A2:2014-07

Inhaltsverzeichnis Lösungen zu Übungen Holzbau I

3	Querschnittsnachweise für Zug parallel zur Faserrichtung des Holzes	2
3.1	Zugstab C24 mit Bohrungen für Verbindungsmittel.....	2
3.2	Zugverbindung mit innen liegendem Stahlblech und Bolzen in GL24h	3
3.3	Zugverbindung mit innen liegendem Stahlblech, Stabdübeln und Passbolzen in GL24h.....	4
4	Querschnittsnachweise für Druck.....	5
4.1	C24-Druckstab mit reduziertem Querschnitt und Bohrungen	5
4.2	Schwellendruck auf C24 unter einem Pfosten.....	6
4.3	Querdruck am Auflagerpunkt eines GL24h-Trägers	7
4.4	Druckspannungen am Auflager eines GL24h-Bogenträgers	8
5	Querschnittsnachweise für Biegung	9
5.1	Zweiachsige Biegung einer C24-Sparrenpfette auf einem Hallendach	9
6	Querschnittsnachweise für Schub	11
6.1	Spannungsnachweise an einem GL28c-Durchlaufträger	11
7	Stabilitätsnachweis von Druckstäben (Biegeknicken nach Ersatzstabverfahren) ...	13
7.1	Knickstabilität an einem C24-Druckstab	13
7.2	Knickstabilität an einer GL28c-Wandstütze	14
7.3	Knickstabilität an einer C24-Stütze mit Kopfbändern aus C24	15
8	Stabilität von Biegestäben ohne Normalkraft (Biegedrillknicken/Kippen nach Ersatzstabverfahren)	17
8.1	Kippstabilität eines GL24c-Biegeträgers	17
8.2	Kippstabilität eines GL28c-Biegeträgers	19
9	Stabilität von Biegestäben mit Normalkraft nach Ersatzstabverfahren	20
9.1	GL28c-Einfeldträger mit Druckkraft	20
9.2	GL32h-Kragträger unter Biege- und Zugbelastung.....	21
11	Verbindungen mit Nägeln.....	22
11.1	C24-Kiefer-Zugstoß mit einschnittigen Nägeln, nicht vorgebohrt	22
11.2	C30-Zugstoß mit zweischnittigen Nägeln 5,0x140, vorgebohrt	24
11.3	GL28h-Zugstoß mit innen liegender Sperrholzasche, vorgebohrt	25
12	Verbindungen mit Klammern.....	28
12.1	Klammerverbindung einer geschlossenen Decke im Holzrahmenbau	28
13	Verbindungen mit Stabdübeln und Passbolzen.....	29
13.1	Stabdübelanschluss rechtwinklig in GL24h.....	29
13.2	Stabdübelanschluss Diagonale - horizontaler Träger in C24	31
14	Verbindungen mit Bolzen und Gewindestangen	33
14.1	Bolzenanschluss mit innen liegendem Stahlblech in C30.....	33
15	Verbindungen mit Holzschrauben	36
15.1	Ermittlung der Tragfähigkeit von Befestigungsschraube und Verbindungsschraube einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade (VHF) auf Holz-Unterkonstruktion C24.....	36

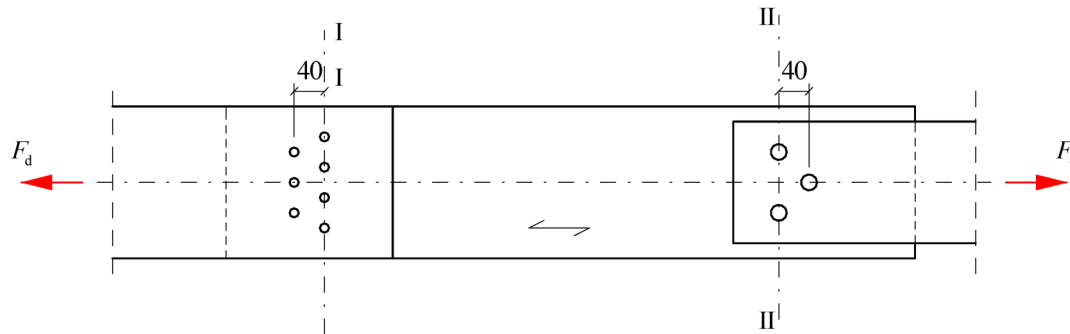
3 Querschnittsnachweise für Zug parallel zur Faserrichtung des Holzes

3.1 Zugstab C24 mit Bohrungen für Verbindungsmittel

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

Welche Fuge hat die geringste Nettoquerschnittsfläche?



$$\text{Fuge I: } 40 \text{ mm} > \left(\frac{a_1}{2} = \frac{5 \cdot 12}{2} = 30 \text{ mm} \right) \rightarrow A_n = 80 \cdot (200 - 4 \cdot 12) = 12.160 \text{ mm}^2$$

$$\text{Fuge II: } 40 \text{ mm} < \left(\frac{a_1}{2} = \frac{5 \cdot 20}{2} = 50 \text{ mm} \right) \rightarrow A_n = 80 \cdot (200 - 3 \cdot 21) = 10.960 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{maßgeblich}$$

a) Tragfähigkeitsnachweis bei KLED ständig

$$(\max \{b; h\} = 200 \text{ mm}) > 150 \text{ mm} \rightarrow f_{t,0,d} = \underbrace{1,0}_{k_{h,t}} \cdot \underbrace{0,75}_{\text{KLED ständig}} \cdot 8,9 = 6,68 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{75.000}{10.960}}{6,47} = \frac{6,84}{6,68} = 1,02 > 1 \rightarrow \text{unzulässig}$$

b) Tragfähigkeitsnachweis bei KLED kurz

$$f_{t,0,d} = \underbrace{1,0}_{k_{h,t}} \cdot \underbrace{1,125}_{\text{KLED kurz}} \cdot 8,9 = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

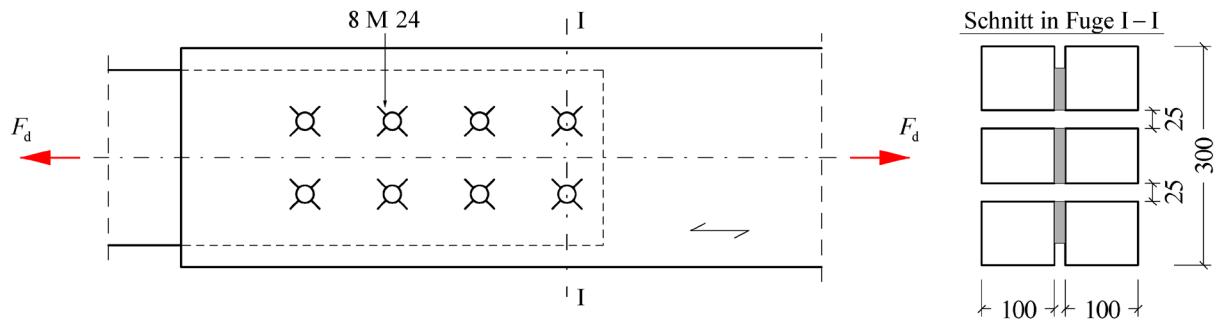
$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{100.000}{10.960}}{10,0} = \frac{9,12}{9,70} = 0,91 < 1 \rightarrow \text{zulässig}$$

3.2 Zugverbindung mit innen liegendem Stahlblech und Bolzen in GL24h

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein bei symmetrisch ausgeführten Zugverbindungen mit Bolzen:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} \leq 1$$

In welcher Fuge stellt sich die höchste Zugspannung ein?



In Fuge I – I überträgt der Holzquerschnitt die gesamte Zugkraft F_d .

Zur Montage der Bolzen M24 werden Löcher mit einem um 1 mm größeren Durchmesser $d = 24 + 1 = 25$ mm gebohrt.

$$A_n = 2 \cdot 100 \cdot (300 - 2 \cdot 25) = 200 \cdot 250 = 50.000 \text{ mm}^2$$

Tragfähigkeitsnachweis bei KLED mittel

$$(\max\{b; h\} = 300 \text{ mm}) \rightarrow f_{t,0,d} = \underbrace{1,072}_{k_{h,t}} \cdot \underbrace{1,0}_{\text{KLED mittel}} \cdot 11,8 = 12,6 \text{ N/mm}^2$$

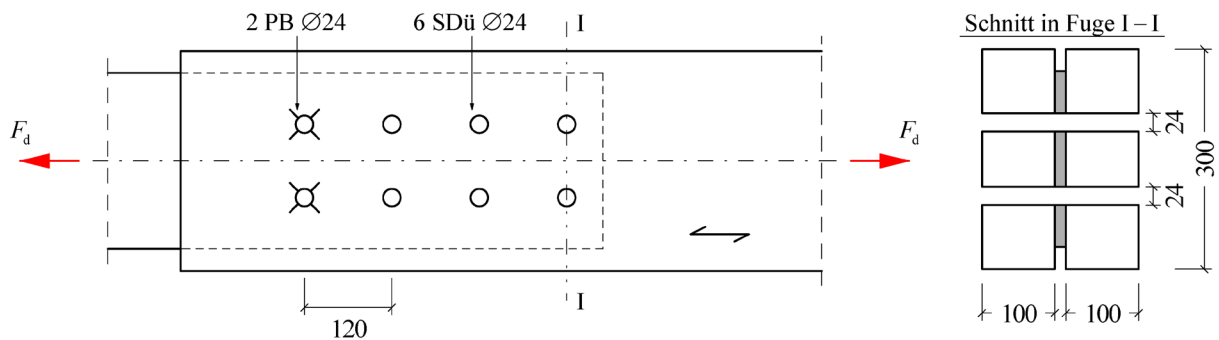
$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{300.000}{50.000}}{\frac{2}{3} \cdot 12,6} = \frac{6,00}{8,40} = 0,71 \leq 1$$

3.3 Zugverbindung mit innen liegendem Stahlblech, Stabdübeln und Passbolzen in GL24h

- a) Die Verkrümmung der einseitig beanspruchten Bauteile durch auf Herausziehen beanspruchbare Verbindungsmittel (hier: 2 Passbolzen) wird verhindert.

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein: $\frac{\sigma_{t,0,d}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} \leq 1$

In welcher Fuge stellt sich die höchste Zugspannung ein?



Maximale aufnehmbare Zugkraft F_d des Holzquerschnittes bei KLED kurz

Zur Montage der Stabdübel/Passbolzen $d = 24$ mm werden Löcher mit dem Nenndurchmesser $d = 24$ mm gebohrt.

$$A_n = 2 \cdot 100 \cdot (300 - 2 \cdot 24) = 200 \cdot 252 = 50.400 \text{ mm}^2$$

$$(\max\{b; h\} = 300 \text{ mm}) \rightarrow f_{t,0,d} = \underbrace{1,072}_{k_{ht}} \cdot \underbrace{1,125}_{\text{KLED kurz}} \cdot 11,8 = 14,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} \leq 1 \rightarrow F_d \leq A_n \cdot \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}$$

$$F_d \leq 50.400 \cdot \frac{2}{3} \cdot 14,2 = 477.120 \text{ N} = 477,1 \text{ kN}$$

Es muss überprüft werden, ob die Verbindungsmittel diese maximale Kraft aufnehmen können!

Axiale Zugkraft in den beiden Passbolzen zusammen (Passbolzen sind keine zusätzlichen Verbindungsmittel (VM), sondern werden auch zur anteiligen Übertragung der Zugkraft F_d herangezogen)

$$F_{t,d} = \frac{F_d \cdot t}{2 \cdot n \cdot a} = \frac{\overbrace{0,5 \cdot 477.120 \cdot 100}^{\text{Normalkraft je Lasche}}}{2 \cdot \underbrace{4}_{\substack{\text{Anzahl VM} \\ \text{hintereinander}}} \cdot 120} = 24.850 \text{ N}$$

Axiale Zugkraft in einem Passbolzen: $F_{t,d} = 0,5 \cdot 24,85 \approx 12,4 \text{ kN}$

- b) Die Verkrümmung der einseitig beanspruchten Bauteile durch auf Herausziehen beanspruchbare Verbindungsmittel wird nicht verhindert.

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{0,4 \cdot f_{t,0,d}} \leq 1 \rightarrow F_d \leq A_n \cdot 0,4 \cdot f_{t,0,d}$$

$$F_d \leq 50.400 \cdot 0,4 \cdot 14,2 = 286.272 \text{ N} = 286,3 \text{ kN}$$

4 Querschnittsnachweise für Druck

4.1 C24-Druckstab mit reduziertem Querschnitt und Bohrungen

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein: $\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{f_{c,0,d}} \leq 1$

Der Stab weist Schwächungen in zwei Querschnitten auf.

Nettoquerschnitt 1, auf Höhe der beiden Bohrungen

$$A_n = 160 \cdot (160 - 2 \cdot 15) = 160 \cdot 130 = 20.800 \text{ mm}^2$$

Nettoquerschnitt 2, oben im reduzierten Querschnitt:

$$A_n = 80 \cdot 160 = 12.800 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{maßgeblich}$$

a) Tragfähigkeitsnachweis bei KLED ständig: $f_{c,0,d} = \underbrace{0,75}_{\text{KLED ständig}} \cdot 12,9 = 9,68 \text{ N/mm}^2$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{f_{c,0,d}} = \frac{\frac{120.000}{20.800}}{9,68} = \frac{5,77}{9,68} = 0,59 \leq 1$$

b) Tragfähigkeitsnachweis bei KLED kurz: $f_{c,0,d} = \underbrace{1,125}_{\text{KLED kurz}} \cdot 12,9 = 14,5 \text{ N/mm}^2$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{f_{c,0,d}} = \frac{\frac{180.000}{12.800}}{14,5} = \frac{14,1}{14,5} = 0,97 \leq 1$$

4.2 Schwellendruck auf C24 unter einem Pfosten

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein: $\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_{ef}}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \leq 1.$

Ermittlung von $k_{c,90}$: $l_1 = 545 \text{ mm} > 2h = 2 \cdot 60 = 120 \text{ mm} \rightarrow k_{c,90} = 1,25$ für Nadelholz

Nachweis für den Bereich der Schwelle unter dem Randpfosten links

$$A_{ef} = (80 + 20 + 30) \cdot 120 = 130 \cdot 120 = 15.600 \text{ mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = 1,0 \cdot 1,54 = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_{ef}}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{30.000}{15.600}}{1,25 \cdot 1,54} = \frac{1,93}{1,93} = 1,00 \leq 1$$

Nachweis für den Bereich der Schwelle unter den Innenpfosten (in der Zeichnung rechts)

$$A_{ef} = (80 + 2 \cdot 30) \cdot 120 = 140 \cdot 120 = 16.800 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_{ef}}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{30.000}{16.800}}{1,25 \cdot 1,54} = \frac{1,79}{1,93} = 0,93 \leq 1$$

4.3 Querdruck am Auflagerpunkt eines GL24h-Trägers

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

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

Ermittlung von $k_{c,90}$; die Länge der Auflagerfläche ist noch unbekannt

Annahme: $l_1 > 2h \rightarrow k_{c,90} = 1,75$ für BSH

$$A_{ef} = (l + 30) \cdot 180$$

$$f_{c,90,d} = 1,0 \cdot 1,54 = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_{ef}}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{100.000}{(l + 30) \cdot 180}}{1,75 \cdot 1,54} \leq 1$$

$$\frac{100.000}{1,75 \cdot 1,54} \leq (l + 30) \cdot 180$$

$$180l + 30 \cdot 180 \geq \frac{100.000}{1,75 \cdot 1,54} = 37.106$$

$$180l \geq 37.106 - 30 \cdot 180 = 31.706$$

$$l \geq \frac{31.706}{180} = 176 \text{ mm}$$

Gewählt: $l = 180 \text{ mm}$

$$A_{ef} = (180 + 30) \cdot 180 = 37.800 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_{ef}}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{100.000}{37.800}}{1,75 \cdot 1,54} = \frac{2,65}{2,70} = 0,98 \leq 1$$

4.4 Druckspannungen am Auflager eines GL24h-Bogenträgers

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

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

$$k_{c,90} = 1,0 \quad \text{Begründung: Abstand } l_1 \text{ zwischen den Druckflächen ist } < 2 \cdot h$$

Bestimmung von $H_{d,max}$

$$\alpha = 60^\circ \quad \gamma = 60^\circ$$

$$A_{ef} = b \cdot (t + 30 \cdot \sin \gamma) = 160 \cdot (120 + 30 \cdot \sin 60^\circ) = 23.357 \text{ mm}^2$$

$$f_{c,\alpha,d} = 1,98 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Tabelle})$$

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{\frac{H_{d,max}}{A_{ef}}}{f_{c,\alpha,d}} \leq 1$$

$$H_{d,max} \leq A_{ef} \cdot f_{c,\alpha,d} = 23.357 \cdot 1,98 = 46.247 \text{ N} = 46,2 \text{ kN}$$

Bestimmung von $V_{d,max}$

$$\alpha = 30^\circ \quad \gamma = 60^\circ$$

$$A_{ef} = b \cdot (l + 30 \cdot \cos \gamma) = 160 \cdot (240 + 30 \cdot \cos 60^\circ) = 40.800 \text{ mm}^2$$

$$f_{c,\alpha,d} = 4,69 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Tabelle})$$

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{\frac{V_{d,max}}{A_{ef}}}{f_{c,\alpha,d}} \leq 1$$

$$V_{d,max} \leq A_{ef} \cdot f_{c,\alpha,d} = 40.800 \cdot 4,69 = 191.352 \text{ N} \approx 191,4 \text{ kN}$$

5 Querschnittsnachweise für Biegung

5.1 Zweiachsiges Biegen einer C24-Sparrenfette auf einem Hallendach

Querschnittswerte und Anteile der Streckenlast in y- und z-Richtung

$$A = 100 \cdot 160 = 16 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = \frac{100 \cdot 160^2}{6} = 0,427 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \quad W_z = \frac{hb^2}{6} = \frac{160 \cdot 100^2}{6} = 0,267 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$q_{y,d} = q_{v,d} \cdot \sin 15^\circ = 0,259 \cdot q_{v,d} \quad q_{z,d} = q_{v,d} \cdot \cos 15^\circ = 0,966 \cdot q_{v,d}$$

Festigkeitswerte:

		bei KLED ständig	bei KLED kurz
$f_{m,y,d}$	$h > 150 \text{ mm} \rightarrow k_{h,y} = 1,0$	$1,0 \cdot 0,75 \cdot 14,8 = 11,1 \text{ N/mm}^2$	$1,0 \cdot 1,125 \cdot 14,8 = 16,7 \text{ N/mm}^2$
$f_{m,z,d}$	$b = 100 \text{ mm}$ $\rightarrow k_{h,z} = 1,084$	$1,084 \cdot 0,75 \cdot 14,8 = 12,0 \text{ N/mm}^2$	$1,084 \cdot 1,125 \cdot 14,8 = 18,0 \text{ N/mm}^2$
$f_{t,0,d}$	$\max\{b; h\} > 150 \text{ mm}$ $\rightarrow k_{h,t} = 1,0$	$1,0 \cdot 0,75 \cdot 8,9 = 6,68 \text{ N/mm}^2$	$1,0 \cdot 1,125 \cdot 8,9 = 10,0 \text{ N/mm}^2$
$f_{c,0,d}$		$0,75 \cdot 12,9 = 9,68 \text{ N/mm}^2$	$1,125 \cdot 12,9 = 14,5 \text{ N/mm}^2$

a) $q_{v,d} = 0,5 \text{ kN/m}$ $F_d = 0$ und KLED ständig: zweiachsiges Biegen ohne Normalkraft

$$M_{y,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0,966 \cdot 0,5 \cdot 5^2}{8} = 1,509 \text{ kNm} \quad M_{z,d} = \frac{q_{y,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0,259 \cdot 0,5 \cdot 5^2}{8} = 0,404 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{1,509 \cdot 10^6}{0,427 \cdot 10^6} = 3,534 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,404 \cdot 10^6}{0,267 \cdot 10^6} = 1,513 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{3,534}{11,1} + 0,7 \cdot \frac{1,513}{12,0} = 0,318 + 0,7 \cdot 0,126 = 0,41 \leq 1 \text{ Nmm}$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,7 \cdot 0,318 + 0,126 = 0,35 \leq 1$$

b) $q_{v,d} = 0,3 \text{ kN/m}$ $F_d = +24 \text{ kN}$ und KLED kurz: zweiachsiges Biegen mit Zugkraft

$$M_{y,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0,966 \cdot 0,3 \cdot 5^2}{8} = 0,906 \text{ kNm} \quad M_{z,d} = \frac{q_{y,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0,259 \cdot 0,3 \cdot 5^2}{8} = 0,243 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,906 \cdot 10^6}{0,427 \cdot 10^6} = 2,122 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,243 \cdot 10^6}{0,267 \cdot 10^6} = 0,909 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_d}{A_n} = \frac{24 \cdot 10^3}{16 \cdot 10^3} = 1,50 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{1,5}{10,0} + \frac{2,122}{16,7} + 0,7 \cdot \frac{0,909}{18,0} = 0,150 + 0,127 + 0,7 \cdot 0,051 = 0,31 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,150 + 0,7 \cdot 0,127 + 0,051 = 0,29 \leq 1$$

c) $q_{v,d} = 1,8 \text{ kN/m}$ $F_d = -24 \text{ kN}$ und KLED kurz: zweiachsige Biegung mit Druckkraft

$$M_{y,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0,966 \cdot 1,8 \cdot 5^2}{8} = 5,433 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = \frac{q_{y,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0,259 \cdot 1,8 \cdot 5^2}{8} = 1,456 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{5,433 \cdot 10^6}{0,427 \cdot 10^6} = 12,72 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{1,456 \cdot 10^6}{0,267 \cdot 10^6} = 5,49 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_d}{A_n} = \frac{24 \cdot 10^3}{16 \cdot 10^3} = 1,50 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \left(\frac{1,5}{14,5} \right)^2 + \frac{12,72}{16,7} + 0,7 \cdot \frac{5,49}{18,0} = 0,011 + 0,762 + 0,7 \cdot 0,305 = 0,99 < 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad = 0,011 + 0,7 \cdot 0,762 + 0,305 = 0,85 \leq 1$$

6 Querschnittsnachweise für Schub

6.1 Spannungsnachweise an einem GL28c-Durchlaufträger

Statik: Werte entnommen aus Schneider/Wendehorst o.ä. Standardliteratur

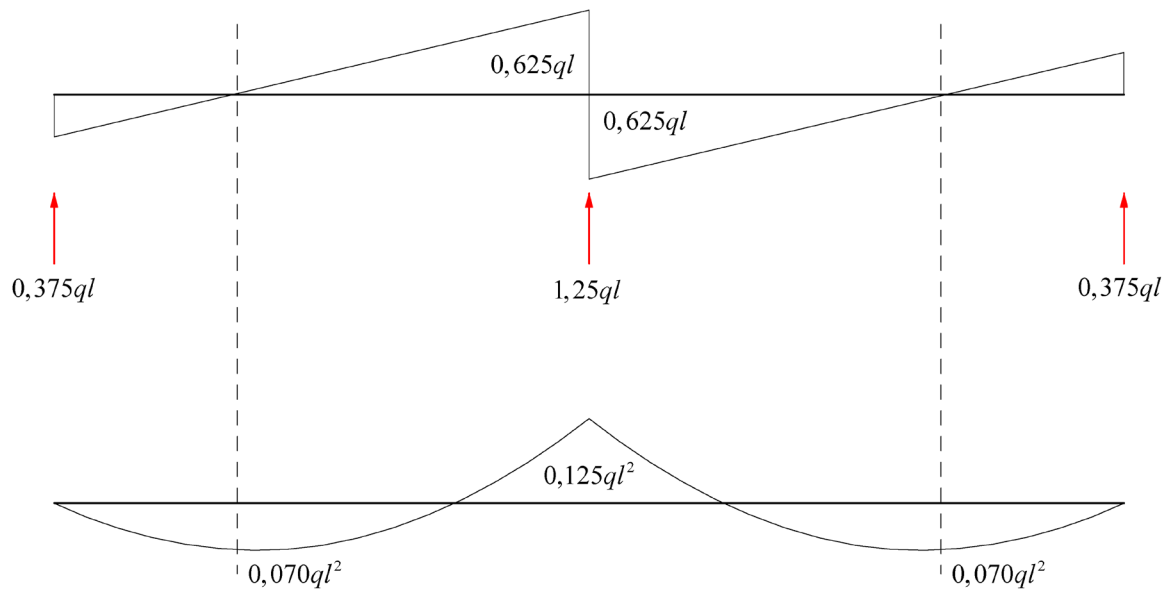
$$M_1 = 0,070 \cdot q_d \cdot l^2 = 0,070 \cdot 60 \cdot 8^2 = 268,8 \text{ kNm}$$

$$M_B = 0,125 \cdot q_d \cdot l^2 = 0,125 \cdot 60 \cdot 8^2 = 480,0 \text{ kNm}$$

$$A = 0,375 \cdot q_d \cdot l = 0,375 \cdot 60 \cdot 8 = 180,0 \text{ kN}$$

$$B = 1,250 \cdot q_d \cdot l = 1,25 \cdot 60 \cdot 8 = 600,0 \text{ kN}$$

$$Q_{bl} = 0,625 \cdot q_d \cdot l = 0,625 \cdot 60 \cdot 8 = 300,0 \text{ kN}$$



a) Nachweis der Biegespannungen

Maximales Biegemoment Auflager B

$$f_{m,y,d} = \underbrace{k_h}_{h>600 \text{ mm} \rightarrow 1,0} \cdot \underbrace{1,125}_{\text{KLED kurz}} \cdot 17,2 = 19,35 \text{ N/mm}^2$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = \frac{220 \cdot 1.000^2}{6} = 36,67 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{\frac{M_{y,d}}{W_y}}{f_{m,y,d}} = \frac{\frac{480 \cdot 10^6}{36,67 \cdot 10^6}}{19,35} = \frac{13,09}{19,35} = 0,68 < 1$$

b) Nachweis der Schubspannungen

Bei Auflager A: volle rechnerische Querkraft $V_d = 180 \text{ kN}$

Reduzierte Querkraft aus q

$$V_{d,\text{red}} = V_d - q_d \cdot (0,25 + 1,0) = 180 - 60 \cdot (0,25 + 1,0) = 105 \text{ kN}$$

$$k_{cr} \cdot f_{v,d} = \underbrace{1,125}_{\text{KLED kurz}} \cdot 1,54 = 1,73 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{k_{cr} \cdot f_{v,d}} = \frac{1,5 \cdot V_{d,red}}{b \cdot h} = \frac{1,5 \cdot 105 \cdot 10^3}{220 \cdot 1.000} = \frac{0,716}{1,73} = 0,42 < 1$$

Bei Auflager B: volle rechnerische Querkraft $V_d = 300$ kN

Reduzierte Querkraft aus q

$$V_{d,red} = V_d - q_d \cdot e = 300 - 60 \cdot (0,40 + 1,0) = 216 \text{ kN (sichere Seite, Stahlträger nicht berücksichtigt)}$$

$$\frac{\tau_d}{k_{cr} \cdot f_{v,d}} = \frac{1,5 \cdot V_{d,red}}{A} = \frac{1,5 \cdot 216 \cdot 10^3}{220 \cdot 10^3} = \frac{1,47}{1,73} = 0,85 < 1$$

c) Nachweis der Querdruckspannungen

Bei Auflager A

$$f_{c,90,d} = 1,125 \cdot 1,66 = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{ef} = 220 \cdot (500 + 30) = 116,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

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

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_{ef}}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{180 \cdot 10^3}{116,6 \cdot 10^3}}{1,75 \cdot 1,87} = \frac{1,54}{3,27} = 0,47 \leq 1$$

Bei Auflager B

$$A_{ef} = 220 \cdot (800 + 2 \cdot 30) = 189,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

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

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_{ef}}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{600 \cdot 10^3}{189,2 \cdot 10^3}}{1,75 \cdot 1,87} = \frac{3,17}{3,27} = 0,97 \leq 1$$

7 Stabilitätsnachweis von Druckstäben (Biegeknicken nach Ersatzstabverfahren)

7.1 Knickstabilität an einem C24-Druckstab

$$f_{c,0,d} = 1,0 \cdot 12,9 = 12,9 \text{ N/mm}^2$$

a) Nachweis mit Rechteckquerschnitt

Knicken um y (Ausweichen des Querschnitts in z-Richtung)

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{12}{b \cdot h}}{\frac{1}{12} \cdot h^2}} = \sqrt{\frac{1}{12}} \cdot h = 0,289 \cdot h = 0,289 \cdot 200 = 57,7 \text{ mm}$$

$$l_{\text{ef},y} = 1,0 \cdot 4.000 = 4.000 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{\text{ef},y}}{i_y} = \frac{4.000}{57,7} = 69,3$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{\frac{150.000}{160 \cdot 200}}{0,562 \cdot 12,9} = 0,65 \leq 1$$

Knicken um z (Ausweichen des Querschnitts in y-Richtung)

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{12}{b \cdot h}}{\frac{1}{12} \cdot b^2}} = \sqrt{\frac{1}{12}} \cdot b = 0,289 \cdot b = 0,289 \cdot 160 = 46,2 \text{ mm}$$

$$l_{\text{ef},z} = 1,0 \cdot 4.000 = 4.000 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{\text{ef},z}}{i_z} = \frac{4.000}{46,2} = 86,6 \rightarrow \text{größere Schlankheit, maßgeblich}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{4,69}{0,393 \cdot 12,9} = 0,93 \leq 1$$

b) Nachweis mit Rundholzquerschnitt

$$i_y = i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot r^4}{4}}{\pi \cdot r^2}} = \sqrt{\frac{1}{4}} \cdot r^2 = \frac{r}{2} = \frac{90}{2} = 45 \text{ mm}$$

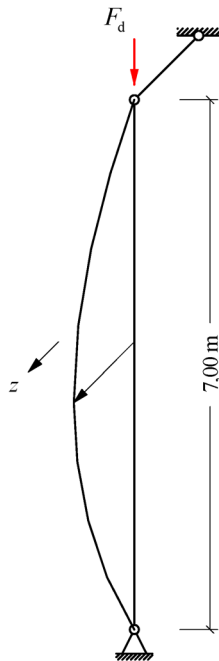
$$l_{\text{ef},y} = l_{\text{ef},z} = 1,0 \cdot 4.000 = 4.000 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{\text{ef},y}}{i_y} = \frac{4.000}{45} = 88,9$$

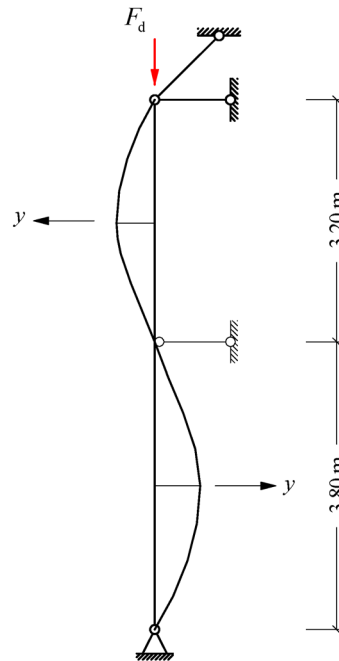
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{\frac{120.000}{\pi \cdot 90^2}}{0,376 \cdot 12,9} = 0,98 \leq 1$$

7.2 Knickstabilität an einer GL28c-Wandstütze

Mögliche Knickfiguren



Knickfigur für Knicken um y



Knickfigur für Knicken um z

$$f_{c,0,d} = 1,0 \cdot 14,8 = 14,8 \text{ N/mm}^2$$

Schlankheit bei Knicken um y (Ausweichen des Querschnitts in z-Richtung)

$$i_y = \frac{320}{\sqrt{12}} = 92,4 \text{ mm}$$

$$l_{\text{ef},y} = \beta \cdot s_y = 1,0 \cdot 7.000 = 7.000 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{\text{ef},y}}{i_y} = \frac{7.000}{92,4} = 75,8$$

Schlankheit bei Knicken um z (Ausweichen des Querschnitts in y-Richtung)

$$i_z = \frac{160}{\sqrt{12}} = 46,2 \text{ mm}$$

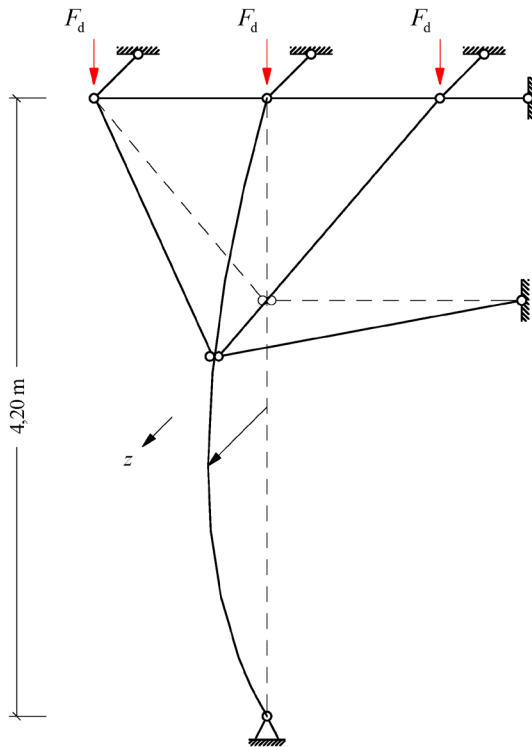
$$l_{\text{ef},z} = \beta \cdot s_z = 1,0 \cdot 3.800 = 3.800 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{\text{ef},z}}{i_z} = \frac{3.800}{46,2} = 82,3 \rightarrow \text{größere Schlankheit, maßgeblich} \rightarrow k_{c,z} = 0,557$$

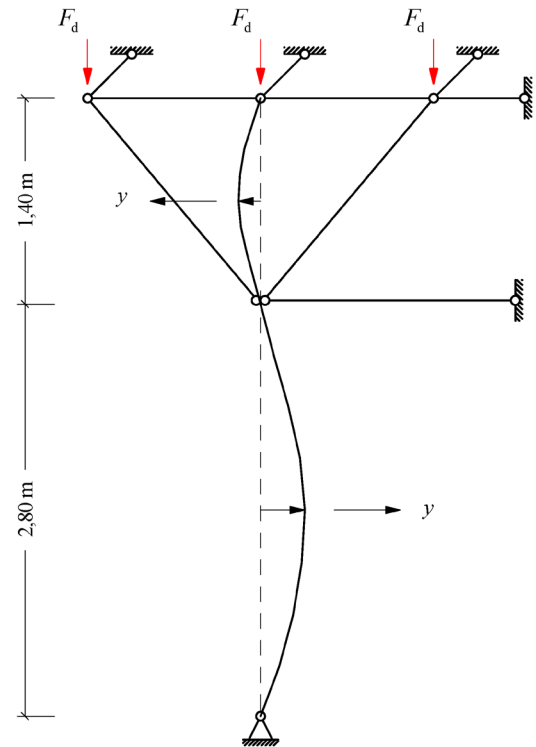
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{\frac{400.000}{160 \cdot 320}}{0,557 \cdot 14,8} = 0,95 \leq 1$$

7.3 Knickstabilität an einer C24-Stütze mit Kopfbändern aus C24

Mögliche Knickfiguren



Knickfigur für Knicken um y



Knickfigur für Knicken um z

$$f_{c,0,d} = 1,0 \cdot 12,9 = 12,9 \text{ N/mm}^2$$

Knicknachweis für die Stütze, N=-120 kN

Schlankheit bei Knicken um y (Ausweichen des Querschnitts in z-Richtung)

$$i_y = \frac{180}{\sqrt{12}} = 52,0 \text{ mm}$$

$$l_{ef,y} = \beta \cdot s_y = 1,0 \cdot 4.200 = 4.200 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{4.200}{52,0} = 80,8$$

Schlankheit bei Knicken um z (Ausweichen des Querschnitts in y-Richtung)

$$i_z = \frac{120}{\sqrt{12}} = 34,6 \text{ mm}$$

$$l_{ef,z} = \beta \cdot s_z = 1,0 \cdot 2.800 = 2.800 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{2.800}{34,6} = 80,8 \rightarrow = \lambda_y$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{\frac{120.000}{120 \cdot 180}}{0,442 \cdot 12,9} = 0,98 \leq 1$$

Knicknachweis für die Kopfbänder

aus kleiner Statik: $N = -52,2 \text{ kN}$

$$\min\{i_y; i_z\} = \frac{80}{\sqrt{12}} = 23,1 \text{ mm}$$

$$l_{\text{ef}} = 1,0 \cdot 1,828 = 1,828 \text{ mm}$$

$$\max\{\lambda_y; \lambda_z\} = \frac{1,828}{23,1} = 79,2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{\frac{52,200}{80 \cdot 180}}{0,457 \cdot 12,9} = 0,62 \leq 1$$

8 Stabilität von Biegestäben ohne Normalkraft (Biegedrillknicken/Kippen nach Ersatzstabverfahren)

8.1 Kippstabilität eines GL24c-Biegeträgers

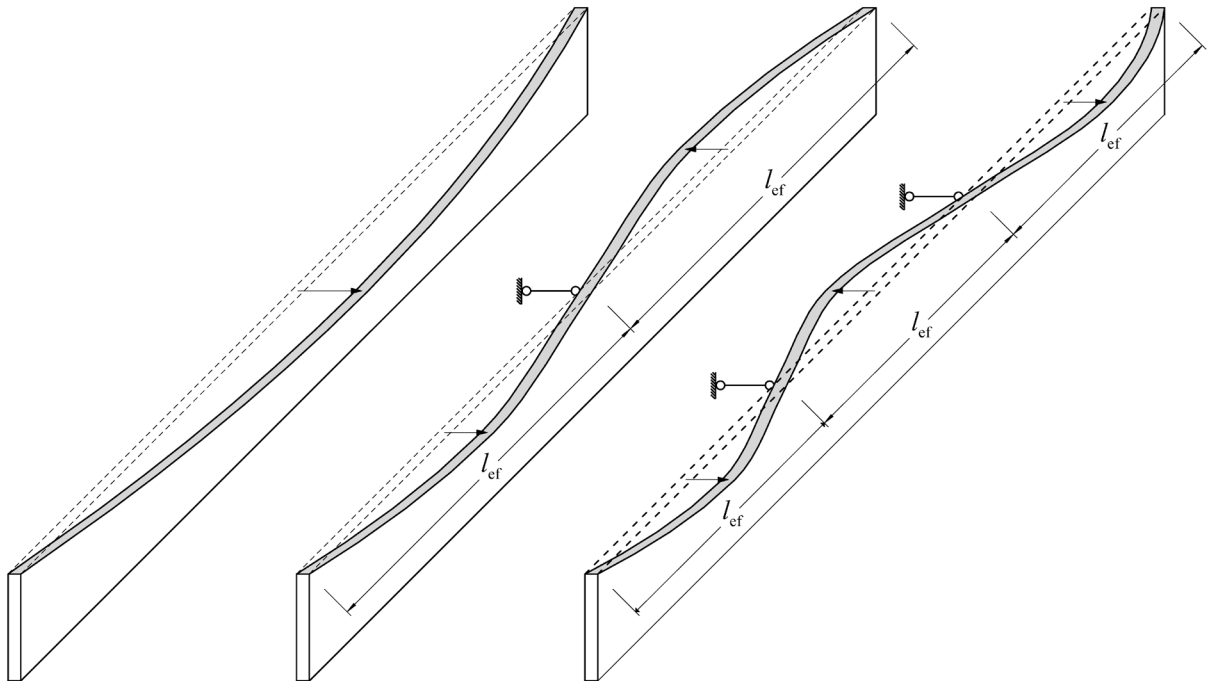
$$f_{m,y,d} = \underbrace{k_h}_{h > 600 \text{ mm} \rightarrow 1,0} \cdot 1,0 \cdot 14,8 = 14,8 \text{ N/mm}^2$$

Der Bemessungswert der maximalen Biegespannung beträgt:

$$M_{y,d} = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{7,5 \cdot 15^2}{8} = 210,94 \approx 211 = 21,1 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{21,1 \cdot 10^7}{\frac{120 \cdot 1000^2}{6}} = \frac{21,1 \cdot 10^7}{2,0 \cdot 10^7} = 10,5 \text{ N/mm}^2$$

Der Träger ist an den Enden durch Gabellager gegen Verdrehungen um die Längsachse gehalten. Die möglichen Kippfiguren sehen für 0, 1 und 2 gleichmäßig verteilte Stabilisierungen wie folgt aus:



a) Ist der Träger ohne Stabilisierungen tragfähig?

Beiwerte a_1 und a_2 für Einfeldträger mit konstanter Streckenlast: $a_1 = 1,13$; $a_2 = 1,44$

$$l_{ef} = \frac{l}{a_1 \cdot \left[1 - a_2 \cdot \frac{a_z}{l} \cdot \underbrace{\sqrt{\frac{E_{0,05}}{4 \cdot G_{05}}}}_{\approx 2,0} \right]} = \frac{15.000}{1,13 \cdot \left[1 - 1,44 \cdot \frac{500}{15.000} \cdot 2 \right]} = \frac{15.000}{1,022} = 14.684 \text{ mm}$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{14.684 \cdot 1.000}{120^2} = 1.019,7 > 166 \rightarrow \text{Nachweis der Kippstabilität erforderlich}$$

$$\lambda_{rel,m} = \kappa_m \cdot \sqrt{\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2}} = 0,0583 \cdot \sqrt{1.019,7} = 1,862 \rightarrow k_{crit} = 1/\lambda_{rel,m}^2 = 0,289$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} = \frac{10,5}{0,289 \cdot 14,8} = \frac{10,5}{4,28} = 2,46 > 1 \rightarrow \text{seitliche Abstützungen erforderlich}$$

b) An wie vielen Punkten muss der Träger mindestens stabilisiert werden?

Reicht eine Stabilisierung in Trägermitte?

$$l_{\text{ef}} = 7.500 \text{ mm}$$

$$\frac{l_{\text{ef}} \cdot h}{b^2} = \frac{7.500 \cdot 1.000}{120^2} = 520,8 > 166 \rightarrow \text{Nachweis der Kippstabilität erforderlich}$$

$$\lambda_{\text{rel,m}} = \kappa_m \cdot \sqrt{\frac{l_{\text{ef}} \cdot h}{b^2}} = 0,0583 \cdot \sqrt{520,8} = 1,330 \rightarrow k_{\text{crit}} = 0,563$$

$$\frac{\sigma_{\text{m,d}}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{\text{m,y,d}}} = \frac{10,5}{0,563 \cdot 14,8} = 1,26 > 1 \rightarrow \text{eine seitliche Abstützung nicht ausreichend}$$

Reichen zwei Stabilisierungen im Abstand von je 5,0 m aus?

$$l_{\text{ef}} = 5.000 \text{ mm}$$

$$\frac{l_{\text{ef}} \cdot h}{b^2} = \frac{5.000 \cdot 1.000}{120^2} = 347,2 > 166 \rightarrow \text{Nachweis der Kippstabilität erforderlich}$$

$$\lambda_{\text{rel,m}} = \kappa_m \cdot \sqrt{\frac{l_{\text{ef}} \cdot h}{b^2}} = 0,0583 \cdot \sqrt{347,2} = 1,086 \rightarrow k_{\text{crit}} = 0,746 \text{ (interpoliert aus Tabelle)}$$

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d}}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{\text{m,y,d}}} = \frac{10,5}{0,746 \cdot 14,8} = 0,95 < 1 \rightarrow \text{zwei seitliche Abstützung ausreichend}$$

8.2 Kippstabilität eines GL28c-Biegeträgers

$$f_{m,y,d} = \underbrace{k_h}_{h > 600 \text{ mm} \rightarrow 1,0} \cdot 1,125 \cdot 17,2 = 19,4 \text{ N/mm}^2$$

a) Biege- und Kippstabilität

Der Bemessungswert der maximalen Biegespannung beträgt:

$$M_{y,d} = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{17,0 \cdot 18^2}{8} = 688,5 \text{ kNm} = 688,5 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{688,5 \cdot 10^6}{\frac{160 \cdot 1.230^2}{6}} = \frac{688,5 \cdot 10^6}{40,34 \cdot 10^6} = 17,1 \text{ N/mm}^2$$

$$l_{ef} = 4.500 \text{ mm}$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{4.500 \cdot 1.230}{160^2} = 216,2 > 177 \rightarrow \text{Nachweis der Kippstabilität erforderlich}$$

$$\lambda_{rel,m} = \kappa_m \cdot \sqrt{\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2}} = 0,0564 \cdot \sqrt{216,2} = 0,829 \rightarrow k_{crit} = 0,938 \text{ (aus Tabelle)}$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} = \frac{17,1}{0,938 \cdot 19,4} = 0,94 < 1$$

b) Schubspannungsnachweis

Sichere Seite: Nachweis mit der vollen Schubspannung beim Auflager

$$k_{cr} \cdot f_{v,d} = 1,125 \cdot 1,54 = 1,73 \text{ N/mm}^2$$

$$V_d = \frac{q_d \cdot l}{2} = \frac{17,0 \cdot 18}{2} = 153,0 \text{ kN}$$

$$\frac{\tau_d}{k_{cr} \cdot f_{v,d}} = \frac{1,5 \cdot \frac{153.000}{160 \cdot 1230}}{1,73} = \frac{1,17}{1,73} = 0,68 < 1 \rightarrow \text{Berechnung red. Querkraft nicht erforderlich}$$

c) Querdruckspannung am Auflager

$$f_{c,90,d} = 1,125 \cdot 1,54 = 1,73$$

$$A_{ef} = 160 \cdot (280 + 30) = 49,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

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

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_{ef}}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{153 \cdot 10^3}{49,6 \cdot 10^3}}{1,75 \cdot 1,73} = 1,019 \approx 1$$

9 Stabilität von Biegestäben mit Normalkraft nach Ersatzstabverfahren

9.1 GL28c-Einfeldträger mit Druckkraft

$$f_{m,y,d} = \underbrace{k_h}_{h > 600 \text{ mm} \rightarrow 1,0} \cdot 1,125 \cdot 17,2 = 19,4 \text{ N/mm}^2 \quad / \quad f_{c,0,d} = 1,125 \cdot 17,2 = 19,4 \text{ N/mm}^2$$

a) Tragfähigkeitsnachweis für den Querschnitt

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_n} = \frac{280.000}{240 \cdot 1.420} = 0,822 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,d} = \frac{F_d \cdot l}{4} = \frac{320 \cdot 12,50}{4} = 1.000 \text{ kNm} = 1,0 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$W_y = \frac{240 \cdot 1.420^2}{6} = 80,656 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{1.000 \cdot 10^6}{80,656 \cdot 10^6} = 12,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\cancel{\sigma_{m,z,d}}}{\cancel{f_{m,z,d}}} = \left(\frac{0,822}{19,4} \right)^2 + \frac{12,4}{19,4} = 0,042^2 + 0,639 = 0,64 < 1$$

b) Bestimmung des Knickbeiwertes $k_{c,z}$

$$l_{ef,z} = \beta \cdot s_z = 1,0 \cdot 12.500 = 12.500 \text{ mm}$$

$$i_z = 0,289 \cdot 240 = 69,3$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{12.500}{69,3} = 180,4$$

$$k_{c,z} = 0,127$$

c) Bestimmung des Kippbeiwertes k_{crit}

$$a_1 = 1,35 \quad a_2 = 1,74 \quad a_z = +1.420/2 = 710 \text{ mm}$$

$$l_{ef} = \frac{l}{a_1 \cdot \left[1 - a_2 \cdot \frac{a_z}{l} \cdot 2 \right]} = \frac{12.500}{1,35 \cdot \left[1 - 1,74 \cdot \frac{+710}{12.500} \cdot 2 \right]} = \frac{12.500}{1,083} = 11.540 \text{ mm}$$

$$\lambda_{rel,m} = \kappa_m \cdot \sqrt{\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2}} = 0,0564 \cdot \sqrt{\frac{11.540 \cdot 1.420}{240^2}} = 0,951 \rightarrow k_{crit} = 0,847$$

d) Stabilitätsnachweis

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \right)^2 = \frac{0,822}{0,127 \cdot 19,4} + \left(\frac{12,4}{0,847 \cdot 19,4} \right)^2 = 0,334 + 0,755^2 = 0,90 < 1$$

9.2 GL32h-Kragträger unter Biege- und Zugbelastung

a) Tragfähigkeitsnachweis für den Querschnitt

$$f_{m,y,d} = \underbrace{1,0}_{\substack{h > 600 \text{ mm} \\ \rightarrow k_{h,y} = 1,0}} \cdot 1,0 \cdot 19,7 = 19,7 \text{ N/mm}^2 \quad f_{t,0,d} = \underbrace{1,0}_{\substack{\max\{b;h\} > 600 \text{ mm} \\ \rightarrow k_{h,t} = 1,0}} \cdot 1,0 \cdot 15,8 = 15,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{900.000}{190 \cdot 1.500} = \frac{900.000}{285.000} = 3,158 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,d} = V_d \cdot l = 205 \cdot 4,50 = 922,5 \text{ kNm}$$

$$W_y = \frac{190 \cdot 1.500^2}{6} = 71,25 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{922,5 \cdot 10^6}{71,25 \cdot 10^6} = 12,95 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{3,158}{15,8} + \frac{12,95}{19,7} = 0,200 + 0,657 = 0,86 < 1$$

b) Stabilitätsnachweis

$$a_1 = 1,27 \quad a_2 = 1,03 \quad a_z = +750$$

$$l_{ef} = \frac{l}{a_1 \cdot \left[1 - a_2 \cdot \frac{a_z}{l} \cdot 2 \right]} = \frac{4.500}{1,27 \cdot \left[1 - 1,03 \cdot \frac{750}{4.500} \cdot 2 \right]} = \frac{4.500}{0,834} = 5.396 \text{ mm}$$

$$\lambda_{rel,m} = \kappa_m \cdot \sqrt{\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2}} = 0,0584 \cdot \sqrt{\frac{5.396 \cdot 1.500}{190^2}} = 0,874$$

$$k_{crit} = 0,905$$

Einachsige Biegung und Zug:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} = \frac{12,95}{0,905 \cdot 19,7} = 0,73 < 1$$

11 Verbindungen mit Nägeln

11.1 C24-Kiefer-Zugstoß mit einschnittigen Nägeln, nicht vorgebohrt

a) Überprüfung von Mindestholzdicke, Übergreifungslänge und Anordnung

Mindestholzdicke zur Vermeidung der Spaltgefahr (Kiefernholz): $t = 21,0 \text{ mm} < 30 \text{ mm}$

Übergreifungslänge: $t_2 - l (= 50 - 30 = 20) > 4 \cdot d (= 4 \cdot 3,0 = 12,0) \rightarrow$ zulässig

Nagelanordnung:

	$\alpha = 0^\circ$	Mindestabstand [mm] für $d = 3,0 \text{ mm}$	vorhanden [mm]
a_1	$(5 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 10 \cdot d$	30,0	30
a_2	$5 \cdot d$	15,0	15
$a_{3,t}$	$(10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 15 \cdot d$	45	45
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$5 \cdot d$	15,0	20

$\rightarrow$ zulässig

Ermittlung der Tragfähigkeit der Nägel für Zugbeanspruchung $F_{ax,Rd}$

$$t_{pen} < 12 \cdot d = 36 \text{ mm} \rightarrow k_{pen} = (t_{pen} / 4 \cdot d) - 2 = (30 / 4 \cdot 3,0) - 2 = 0,5$$

$$f_{ax,k} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 \cdot k_{pen} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 350^2 \cdot 0,5 = 1,225 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{head,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 70 \cdot 10^{-6} \cdot 350^2 = 8,58 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{ax,k} \cdot d \cdot t + f_{head,k} \cdot d^2 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,225 \cdot 3,0 \cdot 30 \\ 1,225 \cdot 3,0 \cdot 30 + 8,58 \cdot 6,0^2 \end{array} \right\} = 110,3 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rd} = k_{mod} \cdot F_{ax,Rk} / \gamma_M = 0,60 \cdot 110,3 / 1,3 = 51 \text{ N}$$

b) Ermittlung der Tragfähigkeit der Nägel für Scherbeanspruchung $F_{v,Rd}$ unter Berücksichtigung der Tragfähigkeit für Zugbeanspruchung

$$\text{Johansen-Anteil mit Bemessungshilfe im Skript: } F_{v,Rd,Joh} = 0,75 \cdot 441 = 331 \text{ N}$$

$$\text{Mindesteinbindetiefe: } t_{req} = 27 \text{ mm}, \text{ Laschen: } t_1 = 30 \text{ mm} > t_{req}, \text{ Stab: } t_2 = 30 \text{ mm} > t_{req}$$

Tragfähigkeit der Nägel:

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,Joh} + \min \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot F_{ax,Rd} \\ k_{Joh} \cdot F_{v,Rd,Joh} \end{array} \right\} = 331 + \min \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot 51 \\ 0,15 \cdot 331 \end{array} \right\} = 331 + 13 = 344 \text{ N}$$

c) Nachweis der Tragfähigkeit der Verbindung

Beanspruchung je Scherfläche:

$$F_{v,Ed} = \frac{F_d}{n \cdot m \cdot p} = \frac{20.000}{2 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 1} = 333 \text{ N} \quad (2 \times 6 \times 5 = 60 \text{ Nägel, jeweils 1 Scherfläche})$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{333}{344} = 0,97 < 1 \quad \text{in Stab und Laschen} \quad \frac{F_{v,Ed} \cdot \cos 0^\circ}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd}} = \frac{333 \cdot 1,0}{(6/6) \cdot 344} = 0,97 < 1$$

d) Nachweis der Tragfähigkeit der Hölzer im Anschlussbereich

Da Nägel mit einem Durchmesser $< 6,0$ mm ohne Vorbohren verwendet werden, ist keine Querschnittsschwächung zu berücksichtigen.

Zugstab:

$$\max\{b; h\} = 100 \text{ mm} \rightarrow f_{t,0,d} = k_{h,t} \cdot 0,75 \cdot 8,9 = 1,084 \cdot 0,75 \cdot 8,9 = 7,24 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{20.000}{50 \cdot 100}}{7,24} = \frac{4,00}{7,24} = 0,55 \leq 1$$

Außen liegende Laschen, einseitig beansprucht, nicht vorgebohrte Nägel:

$$\max\{b; h\} = 100 \text{ mm} \rightarrow f_{t,0,d} = 7,01 \text{ N/mm}^2$$

$$A_n = 2 \cdot 30 \cdot 100 = 6.000 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{20.000}{2 \cdot 30 \cdot 100}}{\frac{2}{3} \cdot 7,24} = \frac{3,33}{4,83} = 0,69 \leq 1$$

11.2 C30-Zugstoß mit zweischnittigen Nägeln 5,0x140, vorgebohrt

a) Sinnvolle (versetzte) Anordnung der Nägel

Anordnung senkrecht zur Faserrichtung:

$$a_2 = (3 + \sin \alpha) \cdot d = 3 \cdot d \quad a_{4,c} = 3 \cdot d \rightarrow d = 5,0 \text{ mm} \rightarrow a_2 = a_{4,c} = 15 \text{ mm} \rightarrow 7 \text{ Nägel}$$

Sehr viele Bohrungen in einem Querschnitt, daher Überprüfung der Querschnittsschwächung:

Zugstab:

$$\max\{b; h\} = 120 \text{ mm} \rightarrow f_{t,0,d} = \underbrace{1,046}_{k_{h,t}} \cdot 1,0 \cdot 11,7 = 12,2 \text{ N/mm}^2$$

$$A_n = 50 \cdot (120 - 7 \cdot 5,0) = 4.250 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{39.000}{4.250}}{12,2} = \frac{9,18}{12,2} = 0,75 \leq 1$$

Außen liegende Laschen, einseitig beansprucht, vorgebohrte Nägel:

$$\max\{b; h\} = 120 \text{ mm} \rightarrow f_{t,0,d} = 12,2 \text{ N/mm}^2$$

$$A_n = 2 \cdot 45 \cdot (120 - 7 \cdot 5) = 7.650 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{0,4 \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{0,4 \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{39.000}{7.650}}{0,4 \cdot 12,2} = \frac{5,10}{4,88} = 1,045 > 1 \rightarrow \text{Querschnittsschwächung zu groß}$$

Versuch mit 5 Nägeln senkrecht zur Faserrichtung, Abstand je 20 mm:

$$A_n = 2 \cdot 45 \cdot (120 - 5 \cdot 5) = 8.550 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{0,4 \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{39.000}{8.550}}{0,4 \cdot 12,2} = \frac{4,56}{4,88} = 0,93 < 1 \rightarrow \text{also 5 Nägel senkrecht zur Faserrichtung}$$

b) Berechnung der Tragfähigkeit der Nägel und Ermittlung der erforderlichen Nagelzahl

Eine Mindestholzdicke zur Vermeidung der Spaltgefahr ist nicht gefordert, da vorgebohrt wird.

Mindesteinbindetiefe Laschen: $t_{1,req} = 35 \text{ mm} < t_1 = 45 \text{ mm}$

Mindesteinbindetiefe Mittelholz: $t_{2,req} (= 0,828 \cdot 35 \text{ mm} = 29 \text{ mm}) < t_2 = 50 \text{ mm}$

Keine Berechnung der Tragfähigkeit für Zugbeanspruchung, da vorgebohrte glattschaftige Nägel für Zugbeanspruchung ungeeignet sind.

Johansen-Anteil mit Bemessungshilfe im Skript: $F_{v,Rd,Joh} = 1.324 \text{ N} = F_{v,Rd}$

Erforderliche Anzahl der Scherflächen aus den Nachweisgleichungen des Kapitel 10:

$$F_{v,Ed} = \frac{F_d}{\underbrace{n \cdot m \cdot p}_{\text{Anzahl Scherflächen}}} \quad \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \quad \frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd}} \leq 1 \quad \cos 0^\circ = 1 \quad (n_{ef}/n) = 1$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{\frac{F_d}{\text{Anzahl Scherflächen}}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \rightarrow \text{Anzahl Scherflächen} \geq \frac{F_d}{F_{v,Rd}} = \frac{39.000}{1.324} = 29,456$$

also 15 zweischnittige Nägel erforderlich, jeweils 3 in einer Reihe in Faserrichtung.

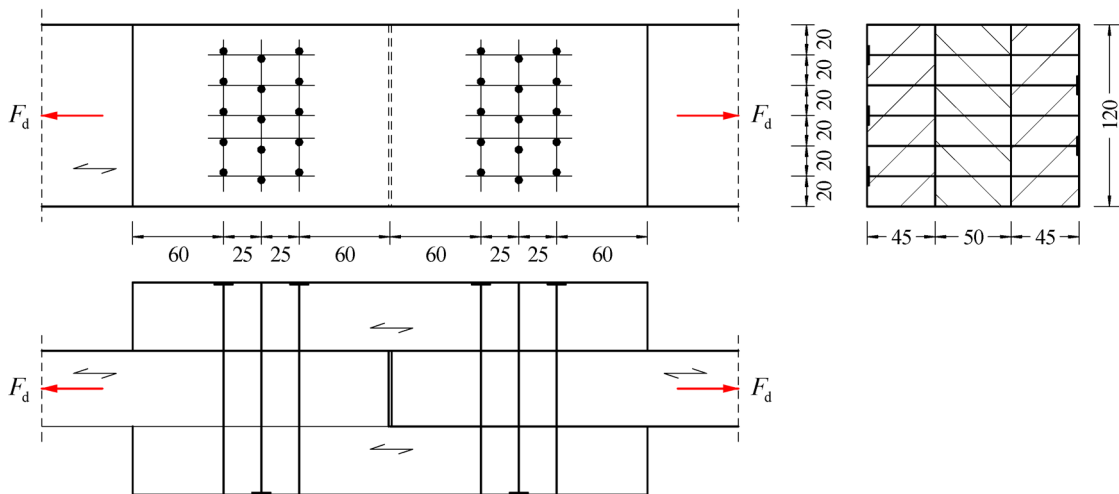
c) Nachweis der Hölzer im Anschlussbereich (Querschnittsschwächungen)

siehe oben.

d) Endgültige Nagelanordnung

	$\alpha = 0^\circ$, vorgebohrt	Mindestabstand für $d = 5,0$ mm	gewählt
a_1	$(4 + \cos \alpha) \cdot d = 5 \cdot d$	25,0 mm	25 mm
a_2	$(3 + \sin \alpha) \cdot d = 3 \cdot d$	15,0 mm	20 mm
$a_{3,t}$	$(7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 12 \cdot d$	60,0 mm	60 mm
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	15,0 mm	20 mm

Ergebnis:



11.3 GL28h-Zugstoß mit innen liegender Sperrholzasche, vorgebohrt

a) Überprüfung der Anordnung

Mindestabstände im Holz:

	Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$	min. [mm] $d = 4,2$ mm	vorh. [mm]
a_1	$0,85 \cdot (4 + \cos \alpha) \cdot d = 4,25 \cdot d$	17,9	20
a_2	$0,85 \cdot (3 + \sin \alpha) \cdot d = 2,55 \cdot d$	10,7	15
$a_{3,t}$	$(7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 12 \cdot d$	50,4	55
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	12,6	15

Mindestabstände im Sperrholz:

	Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$	min. [mm] $d = 4,2$ mm	vorh. [mm]
a_1			20
a_2			15
$a_{3,t}$	$(3 + 4 \cdot \sin 90^\circ) \cdot d = 7 \cdot d$	29,4	30
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	12,6	15

Eine Mindestholzdicke zur Vermeidung der Spaltgefahr ist nicht gefordert, da vorgebohrt wird.

b) Berechnung der anteiligen Belastung und der Tragfähigkeit je Nagelscherfuge

$$\text{anteilige Belastung: } F_{v,Ed} = \frac{F_d}{n \cdot m \cdot p} = \frac{F_d}{2 \cdot 7 \cdot 2} = \frac{32.000}{28} = 1.143 \text{ N}$$

Glattschaftige vorgebohrte Nägel dürfen nicht durch Zug belastet werden.

Charakteristische Werte für Lochleibungsfestigkeiten und Fließmoment

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 4,2) \cdot 425 = 33,39 \text{ N/mm}^2 \text{ (Holz)}$$

$$f_{h,2,k} = 0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot 4,2) \cdot 600 = 63,23 \text{ N/mm}^2 \text{ (Sperrholz)}$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{63,23}{33,39} = 1,894$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 4,2^{2,6} = 7.511 \text{ Nmm}$$

Mindesteinbindetiefe im Seitenholz (GL28h):

$$t_{1,\text{req}} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{1,894}{1+1,894}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{7.511}{33,39 \cdot 4,2}} = 30,4 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

Erste Variante: Berechnung von $t_{2,\text{req}}$ und $F_{v,Rk,Joh}$ nach Skript, Kap. 10

Mindesteinbindetiefe im Mittelholz (Sperrholz):

$$t_{2,\text{req}} = 1,15 \cdot \frac{4}{\sqrt{1+\beta}} \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \frac{4}{\sqrt{1+1,894}} \cdot \sqrt{\frac{7.511}{63,23 \cdot 4,2}} = 14,4 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$$

Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit je Nagel und Scherfuge

$$F_{v,Rk,Joh} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,894}{1+1,894}} \cdot \sqrt{2 \cdot 7.511 \cdot 33,39 \cdot 4,2} = 1.910 \text{ N}$$

Zweite Variante: Berechnung von $t_{2,\text{req}}$ und $F_{v,Rk,Joh}$ nach Skript, Kap. 11.4

Mindesteinbindetiefe im Mittelholz (Sperrholz): $t_{2,\text{req}} = 4 \cdot d = 4 \cdot 4,2 = 16,8 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$

Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit je Nagel und Scherfuge

$$F_{v,Rk,Joh} = 1,15 \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d} = 1,15 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2 \cdot 7.511 \cdot 63,23 \cdot 4,2} = 1.838 \text{ N}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit je Nagel und Scherfuge

$$F_{v,Rd,Joh} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{v,Rk,Joh}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1.910}{1,3} = 1.175 \text{ N}$$

c) Feststellung, ob die Nägel versetzt angeordnet werden müssen

$$\text{nicht versetzt: } \left. \begin{array}{l} a_1 = 4 \cdot d \rightarrow k_{\text{ef}} = 0,5 \\ a_1 = 7 \cdot d \rightarrow k_{\text{ef}} = 0,7 \end{array} \right\} a_1 = 20 = 4,76 \cdot d \rightarrow k_{\text{ef}} = 0,551 \rightarrow n_{\text{ef}} = n^{k_{\text{ef}}} = 2^{0,551} = 1,46$$

$$\frac{F_{v,Ed} \cdot \cos 0^\circ}{(n_{\text{ef}}/n) \cdot F_{v,Rd}} = \frac{1.143 \cdot 1,0}{(1,46/2) \cdot 1.161} = \frac{1.143}{850} = 1,34 > 1 \rightarrow \text{nicht versetzte Anordnung nicht tragfähig}$$

versetzt: $n_{\text{ef}} = n = 2$

$$\frac{F_{v,Ed}}{(n_{\text{ef}}/n) \cdot F_{v,Rd}} = \frac{1.143}{(2/2) \cdot 1.161} = \frac{1.143}{1.175} = 0,97 < 1 \rightarrow \text{versetzte Anordnung tragfähig}$$

d) Tragfähigkeitsnachweis der Hölzer im Anschlussbereich:

Der Zugstab entspricht im Anschlussbereich außen liegenden Laschen, einseitig beansprucht, vorgebohrte Nägel und keine Maßnahmen zur Verhinderung der Verkrümmung:

$$\max\{b, h\} = 120 \text{ mm} \rightarrow f_{t,0,d} = \underbrace{1,1}_{k_{h,t}} \cdot 1,0 \cdot 13,7 = 15,1 \text{ N/mm}^2$$

$$A_n = 2 \cdot 40 \cdot (120 - 7 \cdot 4,2) = 2 \cdot 40 \cdot 90,6 = 7.248 \text{ mm}^2 \text{ (vorgebohrt)}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{0,4 \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{0,4 \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{32.000}{7.248}}{0,4 \cdot 15,1} = \frac{4,42}{6,04} = 0,73 \leq 1$$

Innen liegende Sperrholzlasche, mittig beansprucht:

$$f_{t,0,d} = 17,8 \text{ N/mm}^2$$

$$A_n = 20 \cdot (120 - 7 \cdot 4,2) = 20 \cdot 90,6 = 1.812 \text{ mm}^2 \text{ (vorgebohrt)}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{32.000}{1.812}}{17,8} = \frac{17,7}{17,8} = 0,99 \leq 1$$

12 Verbindungen mit Klammern

12.1 Klammerverbindung einer geschlossenen Decke im Holzrahmenbau

Mindesteinbindetiefe der Klammer im Holz: $t_2 \geq 14 \cdot d = 28 \text{ mm}$ ist erfüllt.

	Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ; \theta = 30^\circ$	mindestens bei $d = 2,0 \text{ [mm]}$	vorhanden [mm]
a_1	$(10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 15 \cdot d$	30	30
a_2	---	---	---
$a_{3,t}$	$(15 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 20 \cdot d$	40	40
$a_{3,c}$	$15 \cdot d$	30	40
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$10 \cdot d$	20	30

anteilige Belastung je Klammerschaft: $F_{v,Ed} = \frac{F_d}{2} = \frac{600}{2} = 300 \text{ N}$

Zugtragfähigkeit eines Klammerschaftes

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{k,2}^2 \cdot d \cdot t_2 \\ 20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{k,1}^2 \cdot d \cdot t_1 + 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{k,1}^2 \cdot d \cdot b \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 20 \cdot 10^{-6} \cdot 350^2 \cdot 2,0 \cdot 28 \\ 20 \cdot 10^{-6} \cdot 550^2 \cdot 2,0 \cdot 22 + 70 \cdot 10^{-6} \cdot 550^2 \cdot 2,0 \cdot 16 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 137,2 \\ 266,2 + 677,6 \end{array} \right\} = 137,2 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rd} = \sqrt{0,80 \cdot 0,65} \cdot (137,2/1,3) = 76,1 \text{ N}$$

Berechnung des Johansen-Anteils

Charakteristische Werte für Lochleibungsfestigkeiten und Fließmoment

$$f_{h,1,k} = 65 \cdot d^{-0,7} \cdot t^{0,1} = 65 \cdot 2,0^{-0,7} \cdot 22^{0,1} = 54,50 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Spanplatte})$$

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 350 \cdot 2,0^{-0,3} = 23,31 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Holz})$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{23,31}{54,50} = 0,428 \quad M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 900 \cdot 2,0^{2,6} = 1.637 \text{ Nmm}$$

Mindesteinbindetiefe Seitenholz 1 (Spanplatte): $t_{1,req} = 7 \cdot d = 7 \cdot 2,0 = 14 \text{ mm} < 22 \text{ mm}$

Mindesteinbindetiefe Seitenholz 2 (C24):

$$t_{2,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \frac{1}{\sqrt{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \frac{1}{\sqrt{1+0,428}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{1.637}{23,31 \cdot 2,0}} = 25,0 < 28 \text{ mm}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit je Klammerschaft und Scherfuge

$$F_{v,Rk,Joh} = 1,15 \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} = 1,15 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2 \cdot 1.637 \cdot 54,50 \cdot 2,0} = 549,6 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd,Joh} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk,Joh}}{\gamma_M} = \sqrt{0,8 \cdot 0,65} \cdot \frac{549,6}{1,3} = 305 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,Joh} + 0,25 \cdot F_{ax,Rd} = 305 + 0,25 \cdot 76,1 = 305 + 19 = 324 \text{ N}$$

$$\text{Klammern: } (n_{ef}/n) = 1 \rightarrow \frac{F_{v,Ed}}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd}} = \frac{300}{324} = 0,93 < 1$$

13 Verbindungen mit Stabdübeln und Passbolzen

13.1 Stabdübelanschluss rechtwinklig in GL24h

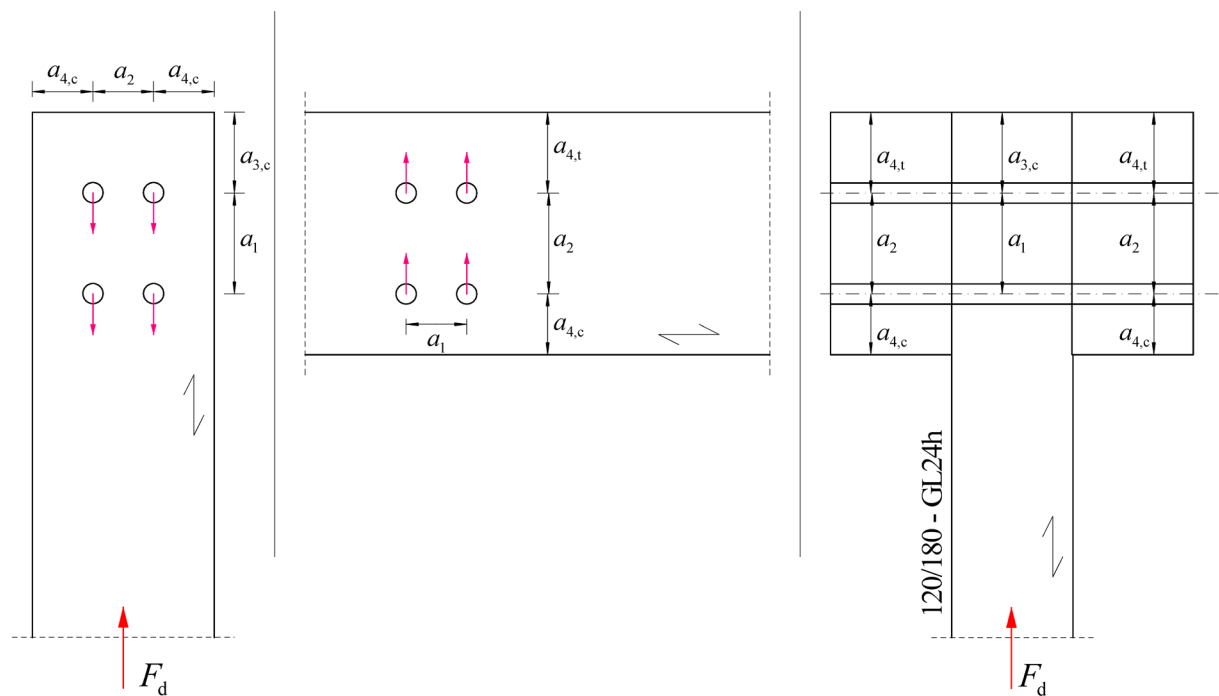
a) Wahl der Dübelanordnung:

Horizontaler Balken:

	Vorschrift bei $\alpha = 90^\circ$	min. [mm] bei $d = 20$ mm	gewählt [mm]
a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	60	60 ($= a_{2,\text{Stütze}} !$)
a_2	$3 \cdot d$	60	100 ($= a_{1,\text{Stütze}} !$)
$a_{3,t}$	---	---	---
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	$\max \left\{ \begin{array}{l} (2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d \\ 3 \cdot d \end{array} \right\}$	80	80
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	60	60

Stütze:

	Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$	min. [mm] bei $d = 20$ mm	gewählt [mm]
a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	100	100 ($= a_{2,\text{Balken}} !$)
a_2	$3 \cdot d$	60	60 ($= a_{1,\text{Balken}} !$)
$a_{3,t}$	---	---	---
$a_{3,c}$	$\max(3,5 \cdot d; 40 \text{ mm})$	70	80
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	60	60



b) Aufnehmbare Stützendruckkraft

Berechnung der Tragfähigkeit einer Dübelscherfläche:

Charakteristische Werte für Lochleibungsfestigkeiten und Fließmoment

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 385 = 25,26 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,26}{1,65} = 15,31 \text{ N/mm}^2 \quad \left. \vphantom{\frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}} \right\} \beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{25,26}{15,31} = 1,65$$

$$f_{h,2,k} = f_{h,0,k} = 25,26 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 20^{2,6} = 260.676 \text{ Nmm}$$

Mindesteinbindetiefen des Verbindungsmittels im Seitenholz eingehalten?

$$t_{1,\text{req}} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{1,65}{1+1,65}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{260.676}{15,31 \cdot 20}} = 120,06 \text{ mm} \approx 120 \text{ mm}$$

oder nach Tabelle:

$$t_{1,\text{req}} = (1/k_1) \cdot k_2 \cdot 126 = (1/1,049) \cdot 1,0 \cdot 126 = 120,1 \text{ mm} \approx 120 \text{ mm} \rightarrow \text{keine Abminderung}$$

Mindesteinbindetiefen des Verbindungsmittels im Mittelholz eingehalten?

$$t_{2,\text{req}} = 1,15 \cdot \frac{4}{\sqrt{1+\beta}} \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \frac{4}{\sqrt{1+1,65}} \cdot \sqrt{\frac{260.676}{25,26 \cdot 20}} = 64,2 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$

$$\text{oder nach Tabelle : } t_{2,\text{req}} = (1/k_1) \cdot k_2 \cdot 67 = (1/1,049) \cdot 1,0 \cdot 67 = 63,9 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$

Charakteristischer Wert und Bemessungswert der Tragfähigkeit je Scherfuge

$$F_{v,Rk,Joh} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \cdot \min \left\{ \frac{t}{t_{\text{req}}} \right\}$$

$$= 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,65}{1+1,65}} \cdot \sqrt{2 \cdot 260.676 \cdot 15,31 \cdot 20} \cdot 1,0 = 16.214 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,Joh} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{v,Rk,Joh}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 16.214}{1,3} = 9.978 \text{ N}$$

$$\text{oder nach Tabelle: } F_{v,Rd} = k_1 \cdot k_2 \cdot 9.510 = 1,049 \cdot 1,0 \cdot 9.510 = 9.976 \text{ N}$$

Tragfähigkeitsnachweis der Verbindung insgesamt: Wegen der Spaltgefahr des Holzes ist für mehrere in Faserrichtung hintereinander angeordnete Stabdübel die wirksame Anzahl n_{ef} zu bestimmen. Vorgesehene Anordnung der SDÜ zwei Reihen je zwei Dübel.

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{n \cdot m \cdot p}{F_{v,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow F_d \leq n \cdot m \cdot p \cdot F_{v,Rd} = 8 \cdot 9.976 = 78.712 \text{ N} \approx 79,8 \text{ kN}$$

Horizontaler Balken $\alpha = 90^\circ > 40^\circ \rightarrow$ Nachweis nicht maßgeblich

Stütze $\alpha = 0^\circ < 40^\circ$

$$\frac{F_{v,Ed}}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd}} = \frac{\frac{F_d}{n \cdot m \cdot p}}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow$$

$$F_d \leq n \cdot m \cdot p \cdot (n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd} = 8 \cdot (1,47/2) \cdot 9.976 = 58.659 \text{ N} \approx 58,7 \text{ kN}$$

Die maximal aufnehmbare Stützendruckkraft beträgt 57,9 kN.

13.2 Stabdübelanschluss Diagonale - horizontaler Träger in C24

a) Überprüfung der Anordnung und Tragfähigkeit der Dübel

Überprüfung der Dübelanordnung:

Seitenhölzer

	Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$	min. [mm] bei $d = 10 \text{ mm}$	vorh. [mm]
a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	50	71
a_2	$3 \cdot d$	30	60
$a_{3,t}$	$\max\{7 \cdot d ; 80 \text{ mm}\}$	80	85
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	30	30

Mittelholz

	Vorschrift bei $\alpha = 45^\circ$	min. [mm] bei $d = 10 \text{ mm}$	vorh. [mm]
a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	44	85
a_2	$3 \cdot d$	30	50
$a_{3,t}$	---	---	---
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	$\max\{(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d ; 3 \cdot d\}$	34	40
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	30	40

Berechnung der Tragfähigkeit einer Dübelscherfläche

Charakteristische Werte für Lochleibungsfestigkeiten und Fließmoment

Zweiteilige Diagonale (Seitenhölzer) $\alpha = 0^\circ$:

$$f_{h,1,k} = f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) \cdot 350 = 25,83 \text{ N/mm}^2$$

Untergurt (Mittelholz) $\alpha = 45^\circ$:

$$f_{h,2,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,83}{1,25} = 20,66 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{20,66}{25,83} = 0,80$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 10^{2,6} = 42.996 \approx 43.000 \text{ Nmm}$$

Mindesteinbindetiefen des Verbindungsmittels im Seitenholz eingehalten?

$$t_{1,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{0,8}{1+0,8}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{43.000}{25,83 \cdot 10}} = 49,5 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$$

$$\text{oder nach Tabelle: } t_{1,req} = (1/k_1) \cdot k_2 \cdot 49 = (1/1,0) \cdot 1,0 \cdot 49 = 49 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$$

Mindesteinbindetiefen des Verbindungsmittels im Mittelholz eingehalten?

$$t_{2,req} = 1,15 \cdot \frac{4}{\sqrt{1+\beta}} \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \frac{4}{\sqrt{1+0,8}} \cdot \sqrt{\frac{43.000}{20,66 \cdot 10}} = 49,5 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$

$$\text{oder nach Tabelle : } t_{2,req} = (1/k_1) \cdot k_2 \cdot 49 = (1/1,0) \cdot 1,0 \cdot 49 = 49 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$

Charakteristischer Wert und Bemessungswert der Tragfähigkeit je Scherfuge

$$F_{v,Rk,Joh} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,l,k} \cdot d} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,8}{1 + 0,8}} \cdot \sqrt{2 \cdot 43.000 \cdot 25,83 \cdot 10} = 5.110 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk,Joh}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 5.110}{1,3} = 3.145 \text{ N}$$

oder nach Tabelle: $F_{v,Rd} = k_1 \cdot k_2 \cdot 3.140 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 3.140 = 3.140 \text{ N}$

Tragfähigkeitsnachweis für eine Scherfläche eines VM:

$$F_{v,Ed} = \frac{F_d}{n \cdot m \cdot p} = \frac{26.000}{3 \cdot 2 \cdot 2} = 2.167 \text{ N} \rightarrow \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{2.167}{3.145} = 0,69 < 1,0$$

Tragfähigkeitsnachweise für eine Scherfläche eines VM in Faserrichtung:

im Seitenholz $\frac{F_{v,Ed}}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd}} = \frac{2.167}{(2,12/3) \cdot 3.145} = 0,98 < 1,0$

im Mittelholz $\alpha = 45^\circ > 40^\circ \rightarrow$ nicht maßgeblich

b) Tragfähigkeit der Hölzer im Anschlussbereich:

Da Hölzer zur Montage von SDÜ immer vorgebohrt werden ist die Querschnittsschwächung zu berücksichtigen.

$$\max\{b; h\} = 120 \text{ mm} \rightarrow f_{t,0,d} = \underbrace{1,046}_{k_{h,t}} \cdot 1,0 \cdot 8,9 = 9,31 \text{ N/mm}^2$$

Diagonale einseitig beansprucht wie außen liegende Laschen, keine Maßnahmen zur Verhinderung der Krümmung:

$$A_n = 2 \cdot 80 \cdot (120 - 2 \cdot 10) = 2 \cdot 80 \cdot 100 = 16.000 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{0,4 \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{0,4 \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{26.000}{16.000}}{0,4 \cdot 9,31} = \frac{1,63}{3,72} = 0,44 \leq 1$$

14 Verbindungen mit Bolzen und Gewindestangen

14.1 Bolzenanschluss mit innen liegendem Stahlblech in C30

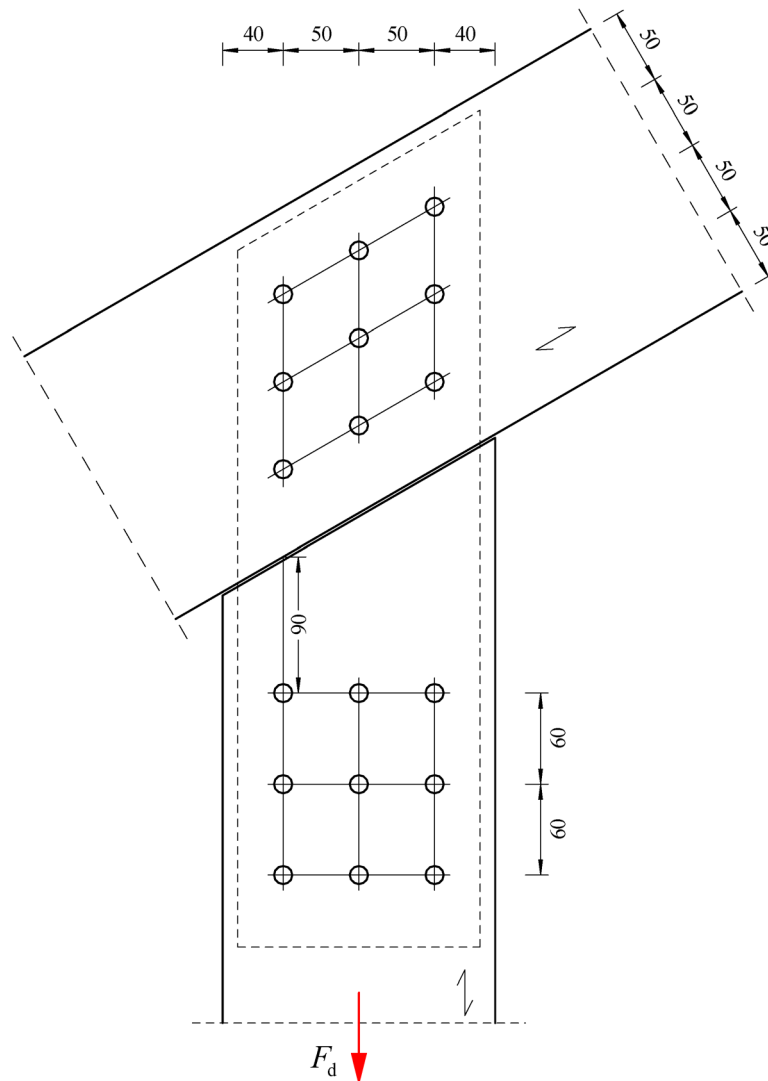
a) Wahl der Bolzenanordnung:

geneigter Balken

	Vorschrift	$\alpha = 60^\circ$	min. [mm] bei $d = 12$ mm	gewählt [mm]
a_1	$(4 + \cos \alpha) \cdot d$	$4,5 \cdot d$	54	$(50 / \cos 30^\circ) = 58$
a_2	$4 \cdot d$	$4 \cdot d$	48	50
$a_{3,t}$	---		---	---
$a_{3,c}$	---		---	---
$a_{4,t}$	$\max \{ (2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d ; 3 \cdot d \}$	$3,73 \cdot d$	45	50
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$	36	50

Vertikalstab

	Vorschrift	$\alpha = 0^\circ$	min. [mm] bei $d = 12$ mm	gewählt [mm]
a_1	$(4 + \cos \alpha) \cdot d$	$5 \cdot d$	60	60
a_2	$4 \cdot d$	$4 \cdot d$	48	50
$a_{3,t}$	$\max \{ 7 \cdot d ; 80 \text{ mm} \}$	$7 \cdot d$	84	90
$a_{3,c}$	---		---	---
$a_{4,t}$	---		---	---
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$	36	40



b) Aufnehmbare Kraft

Tragfähigkeit der Verbindung oben (im geneigten Balken)

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 380 = 27,42 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha = 60^\circ \rightarrow f_{h,1,k} = f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{27,42}{1,398} = 19,61 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 12^{2,6} = 76.745 \text{ Nmm}$$

Mindesteinbindetiefen des Verbindungsmittels:

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{76.745}{19,61 \cdot 12}} = 83,0 \text{ mm} < 85 \text{ mm}$$

oder nach Tabelle: $t_{1,\text{req}} = (1/k_1) \cdot k_2 \cdot 69,6 = (1/1,042) \cdot 1,054 \cdot 82,1 = 83,0 \text{ mm} < 85 \text{ mm}$

Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit je Scherfuge

$$F_{v,Rk,Joh} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 76.745 \cdot 19,61 \cdot 12} = 9.775 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd,Joh} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,6 \cdot 9.775}{1,3} = 4.512 \text{ N}$$

oder nach Tabelle: $F_{v,Rd} = k_1 \cdot k_2 \cdot 7.510 = 0,75 \cdot 1,042 \cdot 1,054 \cdot 5.480 = 4.514 \text{ N}$

$$F_{v,Rd} = 1,25 \cdot F_{v,Rd,Joh} = 1,25 \cdot 4.512 = 5.640 \text{ N}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{\frac{F_d}{n \cdot m \cdot p}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow F_d \leq n \cdot m \cdot p \cdot F_{v,Rd} \rightarrow F_d \leq 18 \cdot 5.640 = 101.520 \text{ N} = 101,5 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd}} = \frac{\frac{F_d}{n \cdot m \cdot p} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow$$

$$F_d \leq \frac{n \cdot m \cdot p \cdot (n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd}}{\cos \alpha} = \frac{18 \cdot (2,71/3) \cdot 5.640}{\cos 60^\circ} = 183.413 \text{ N} = 183,4 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit der Verbindung unten (im Vertikalstab)

Mit der Bemessungshilfe für Stabdübel

$$t_{1,req} = (1/k_1) \cdot k_2 \cdot 69,6 = (1/1,042) \cdot 1,054 \cdot 69,4 = 70,2 \text{ mm} < 85 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rd} = k_1 \cdot k_2 \cdot 7.510 = 0,75 \cdot 1,042 \cdot 1,054 \cdot 6.480 = 5.338 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd} = 1,25 \cdot F_{v,Rd,Joh} = 0,25 \cdot 5.338 = 6.672 \text{ N}$$

$$F_d \leq \frac{18 \cdot \frac{n_{ef}}{n} \cdot F_{v,Rd}}{\cos \alpha} = \frac{18 \cdot \frac{2,12}{3} \cdot 6.672}{\cos 0^\circ} = 84.868 \text{ N} = 84,9 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit der Hölzer im Anschlussbereich des Vertikalstabs:

$$\max\{b; h\} = 180 \text{ mm} \rightarrow f_{t,0,d} = \underbrace{1,0}_{k_{h,t}} \cdot 0,75 \cdot 11,1 = 8,33 \text{ N/mm}^2$$

Zugstab einseitig beansprucht wie außen liegende Laschen, Schraubenbolzen verhindern die Krümmung (siehe Skript, Kap. 3):

$$A_n = 170 \cdot \left[180 - 3 \cdot \underbrace{(12 + 1)}_{\substack{\text{Bolzen-}\varnothing \\ + 1 \text{ mm}}} \right] = 170 \cdot 141 = 23.970 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} \rightarrow F_d = \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d} \cdot A_n = \frac{2}{3} \cdot 8,33 \cdot 23.970 = 133.110 \text{ N} \approx 133,1 \text{ kN}$$

Lösung: die Tragfähigkeit der Verbindung beträgt

Die Tragfähigkeit der Stahlflasche muss nach DIN 18800 nachgewiesen werden.

15 Verbindungen mit Holzschrauben

15.1 Ermittlung der Tragfähigkeit von Befestigungsschraube und Verbindungsschraube einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade (VHF) auf Holz-Unterkonstruktion C24

a) Tragfähigkeit der Fassadenschraube

Überprüfung der Anordnung in der Traglattung

Anordnung und Mindestholzdicke wie nicht vorgebohrte Nägel

Mindestholzdicke $t = 38,5$ mm (andere Holzart als Kiefernholz) ist eingehalten, da für Trag- und Konterlattung eine besondere Regel über die Mindestholzdicke gilt.

	$\alpha = 0^\circ$	Mindestabstand für $d = 5,5$ mm	vorhanden
$a_{4,c}$	$5 \cdot d$	27,5 mm	30 mm

Bemessungswert der Tragfähigkeit bei Beanspruchung durch Zug aus Windsog

Bemessungswert des Widerstands gegen Kopfdurchzug durch die Fassadentafel gemäß Zulassung

$$F_{ax,head,Rd} = 450 \text{ N}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit für Herausziehen des Schraubengewindes für Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung $\alpha = 90^\circ$

$$F_{ax,\alpha,Rk,2} = \frac{n_{ef}}{n} \cdot \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} = \frac{1^{0,9}}{1} \cdot \frac{8,575 \cdot 5,5 \cdot 25}{1,0} \cdot \left(\frac{350}{350} \right)^{0,8} = 1.179 \text{ N}$$

$$F_{ax,\alpha,Rd,2} = \frac{k_{mod} \cdot F_{ax,\alpha,Rk,2}}{\gamma_M} \rightarrow \frac{0,9 \cdot 1.179}{1,3} = 816 \text{ N}$$

Zugtragfähigkeit der Verbindung

$$F_{ax,Rd} = \min \left\{ \begin{matrix} F_{ax,head,Rd} \\ F_{ax,\alpha,Rd,2} \\ F_{t,Rd} \end{matrix} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 450 \\ 816 \\ 7.700 \end{matrix} \right\} = 450 \text{ N}$$

Berechnung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit bei Beanspruchung durch Abscheren

Die Versagensart für Abscheren der Faserzement-Holzverbindung ist analog der Verbindung mit außen liegendem dünnem Stahlblech, da keine Einspannwirkung in der Faserzementtafel entsteht.

Fassadenschraube nicht vorgebohrt, Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung $\alpha = 0^\circ$

Für Tafeldicke/Schraubenlänge 12/45 mm ist die Einbindetiefe $t_1 = (45 - 12) = 33$ mm

$$d_{ef} = 1,1 \cdot d_1 = 1,1 \cdot 4,2 = 4,6 \text{ mm}$$

$$t_{req} = \sqrt{800/600} \cdot 41 = 47 \text{ mm} > 33 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rd,Joh} = 1,125 \cdot \sqrt{800/600} \cdot 892 \cdot (33/47) = 814 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,Joh} + \min \left\{ \begin{matrix} 0,25 \cdot F_{ax,Rd} \\ k_{Joh} \cdot F_{v,Rd,Joh} \end{matrix} \right\} = 814 + \min \left\{ \begin{matrix} 0,25 \cdot 450 \\ 1,00 \cdot 814 \end{matrix} \right\} = 927 \text{ N}$$

b) Tragfähigkeit der Verbindungsschraube

Überprüfung der Anordnung in der Konterlattung

Anordnung wie vorgebohrte Nägel

	$\alpha = 90^\circ$	Mindestabstand für $d = 6,0 \text{ mm}$	vorhanden
$a_{4,t}$	$(3 + 4 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	42 mm	42 mm
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	18 mm	18 mm

Berechnung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit bei Beanspruchung durch ZugBemessungswert der Tragfähigkeit für Herausziehen des Schraubengewindes auf der Kopfseite für Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung $\alpha = 90^\circ$

$$F_{ax,\alpha,Rk,1} = \frac{n_{ef}}{n} \cdot \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} = \frac{1^{0,9}}{1} \cdot \frac{9,80 \cdot 6,0 \cdot 15}{1,0} \cdot \left(\frac{350}{350} \right)^{0,8} = 882 \text{ N}$$

$$F_{ax,\alpha,Rd,1} = \frac{k_{mod} \cdot F_{ax,\alpha,Rk,2}}{\gamma_M} \rightarrow \frac{0,9 \cdot 882}{1,3} = 611 \text{ N}$$

Bemessungswert des Widerstands gegen Kopfdurchzug

$$F_{ax,head,Rk} = \frac{n_{ef}}{n} \cdot f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} = \frac{1^{0,9}}{1} \cdot 9,80 \cdot 11,7^2 \cdot \left(\frac{350}{350} \right)^{0,8} = 1.342 \text{ N}$$

$$F_{ax,head,Rd} = 0,9 \cdot \frac{1.342}{1,3} = 929 \text{ N}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit für Herausziehen des Schraubengewindes für Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung $\alpha = 90^\circ$

$$F_{ax,\alpha,Rk,2} = \frac{n_{ef}}{n} \cdot \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} = \frac{1^{0,9}}{1} \cdot \frac{9,80 \cdot 6,0 \cdot 40}{1,0} \cdot \left(\frac{350}{350} \right)^{0,8} = 2.352 \text{ N}$$

$$F_{ax,\alpha,Rd,2} = \frac{k_{mod} \cdot F_{ax,\alpha,Rk,2}}{\gamma_M} \rightarrow \frac{0,9 \cdot 2.352}{1,3} = 1.628 \text{ N}$$

Zugtragfähigkeit der Verbindung

$$F_{ax,Rd} = \min \left\{ \max \left\{ \frac{F_{ax,\alpha,Rd,1}}{F_{ax,head,Rd}} \right\}; F_{ax,\alpha,Rd,2}; F_{t,Rd} \right\} = \min \left\{ \max \left\{ \frac{611}{929} \right\}; 1.628; 9.000 \right\} = 929 \text{ N}$$

Berechnung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit bei Beanspruchung durch AbscherenVerbindungsschraube durch Bohrspitze vorgebohrt, Winkel Kraft-/Faserrichtung $\alpha = 0^\circ$

$$d_{ef} = 1,1 \cdot d_1 = 1,1 \cdot 4,5 = 5,0 \text{ mm}$$

$$t_{req} = \sqrt{800/600} \cdot 37 = 43 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rd,Joh} = 1,125 \cdot \sqrt{800/600} \cdot 1.270 \cdot (40/43) = 1.535 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,Joh} + \min \left\{ \frac{0,25 \cdot F_{ax,Rd}}{k_{Joh} \cdot F_{v,Rd,Joh}} \right\} = 1.535 + \min \left\{ \frac{0,25 \cdot 929}{1,00 \cdot 1.535} \right\} = 1.767 \text{ N}$$