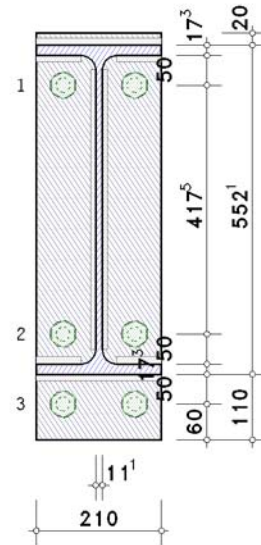
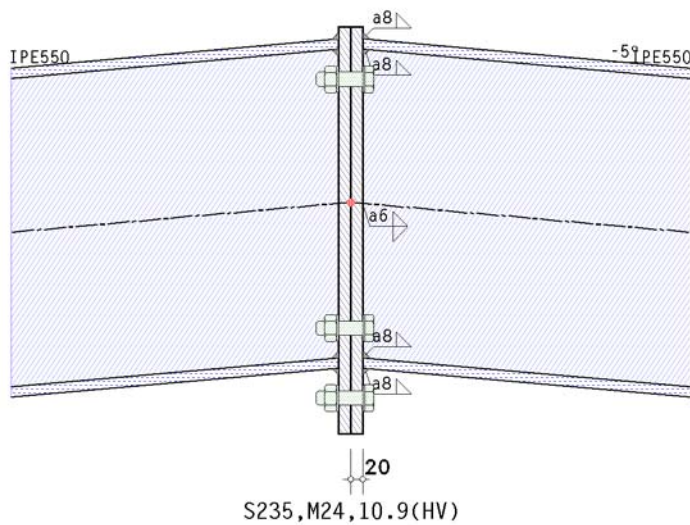
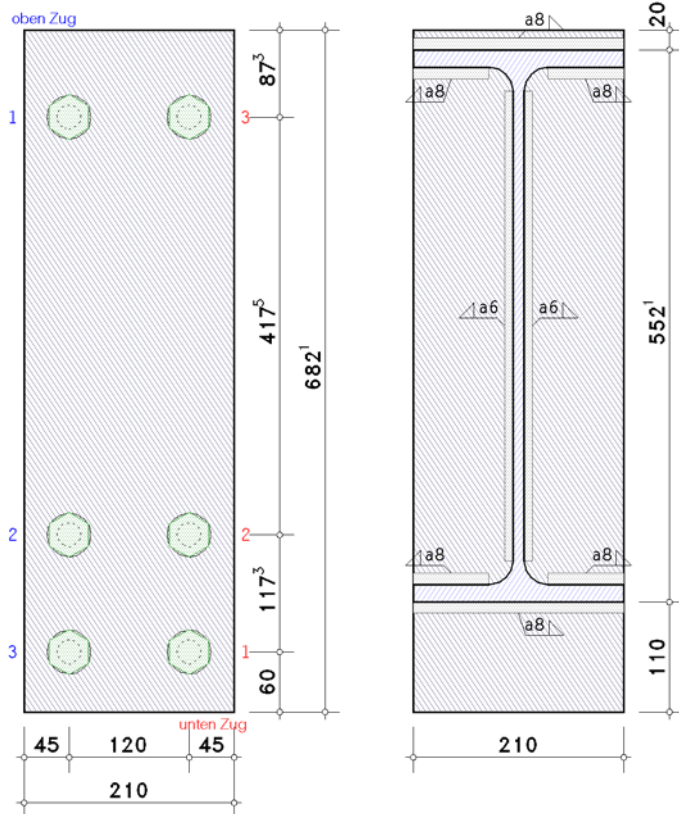


Biegesteifer Trägerstoß EC 3-1-8 (12.10), NA: Deutschland

1. Eingabeprotokoll



Details (Schnitt A - A)



Stahlsorte

Stahlgüte S235

Schrauben

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M24

große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt (zur Info: Regelvorspannkraft $F_{p,c}^* = 0.7 \cdot f_{yb} \cdot A_s = 222.4 \text{ kN}$)

Schaft in der Scherfuge

Parameter des Trägers

Profil IPE550

Neigungswinkel des Profils gegen die Horizontale $\alpha_b = -5.00^\circ$

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss:

Dicke $t_p = 20.0 \text{ mm}$, Breite $b_p = 210.0 \text{ mm}$, Länge $l_p = 682.1 \text{ mm}$

Überstände $h_{p,o} = 20.0 \text{ mm}$, $h_{p,u} = 110.0 \text{ mm}$

Schrauben im Anschluss:

3 Schraubenreihen mit je 2 Schrauben

davon 1 Schraubenreihe oben unter Zugbelastung (Reihe 1)

und 2 Schraubenreihen zur Querkraftübertragung oben (Reihen 2-3)

davon 2 Schraubenreihen unten unter Zugbelastung (Reihen 2-3)

und 1 Schraubenreihe zur Querkraftübertragung unten (Reihe 3)

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 45.0 \text{ mm}$

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 87.3 \text{ mm}$

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 60.0 \text{ mm}$

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 417.5 \text{ mm}$, $p_{2-3} = 117.3 \text{ mm}$

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 8.0 \text{ mm}$, Öffnungswinkel $\varphi = 95^\circ$

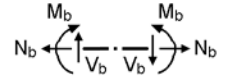
Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 6.0 \text{ mm}$

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 8.0 \text{ mm}$, Öffnungswinkel $\varphi = 85^\circ$

Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen

Lk 1: Ek 3 (bzgl. rechter Rahmenecke)

$$N_{j,b,Ed} = -50.10 \text{ kN} \quad M_{j,b,Ed} = 308.80 \text{ kNm} \quad V_{j,b,Ed} = 116.70 \text{ kN}$$



Materialsicherheitsbeiwerte

Beanspruchbarkeit von Querschnitten $\gamma_{M0} = 1.00$

Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen $\gamma_{M1} = 1.10$

Beanspruchbarkeit von Schrauben, Schweißnähten, Blechen auf Lochleibung $\gamma_{M2} = 1.25$

Vorspannung hochfester Schrauben $\gamma_{M7} = 1.10$

Datencheck

ok

Abstände der Schraubenreihen am Stirnblech

horizontal: $e_2 = 45.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,

horizontal: $p_2 = 120.0 \text{ mm} > 2.4 \cdot d_0 = 62.4 \text{ mm}$,

vertikal: $e_1 = 87.3 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,

vertikal: $p_1 = 417.5 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 57.2 \text{ mm}$,

vertikal: $p_1 = 117.3 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 57.2 \text{ mm}$,

vertikal: $e_1 = 60.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,

$e_2 = 45.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 120.0 \text{ mm}$

$p_2 = 120.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$

$e_1 = 87.3 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 120.0 \text{ mm}$

$p_1 = 417.5 \text{ mm} > \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm} \quad !!$

$p_1 = 117.3 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$

$e_1 = 60.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 120.0 \text{ mm}$

Maximale Rand- und Lochabstände sollten zur Vermeidung von Korrosion sowie zur Verhinderung lokalen Beulens eingehalten werden.

Hinweise

Die Querschnittsprofile werden nicht nachgewiesen.

Die Schweißnähte der Verbindung werden nicht nachgewiesen.

2. Lk 1: Ek 3 (bzgl. rechter Rahmenecke)

Hinweise

Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkkräfte.

Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

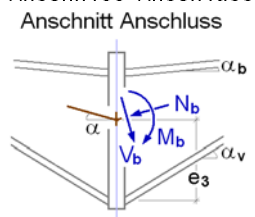
Die Berechnung der T-Stummel-Tragfähigkeit erfolgt mit dem Standard-Verfahren.

2.1. Bemessungsgrößen

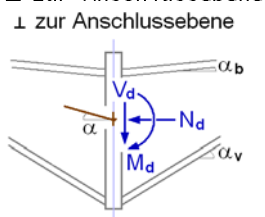
Knotenschnittgrößen



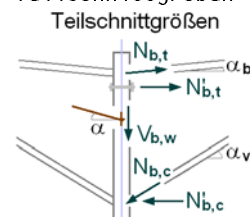
Anschnitt Anschluss



⊥ zur Anschlussebene



Teilschnittgrößen



Neigungswinkel: $\alpha_b = \alpha_v = \alpha = -5.00^\circ$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger

$N_d = 60.08 \text{ kN}$, $M_d = -308.80 \text{ kNm}$, $V_d = 111.89 \text{ kN}$

negatives Biegemoment $M_d \Rightarrow$ Modell wird gespiegelt ($\alpha_b = \alpha_v = \alpha = 5.00^\circ$)

$N_d = 60.08 \text{ kN}$, $M_d = 308.80 \text{ kNm}$, $V_d = -111.89 \text{ kN}$

Teilschnittgrößen bezogen auf das gespiegelte Modell

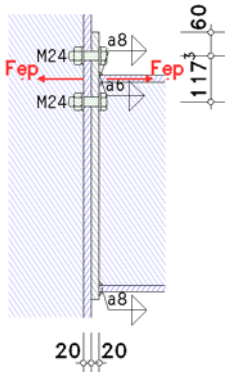
Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d + N_d \cdot t_{ep} \cdot \tan(\alpha) - V_d \cdot t_{ep} = 311.14 \text{ kNm}$

$N_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b) / \cos(\alpha_b) = 553.82 \text{ kN}$, $z_b = 534.8 \text{ mm}$, $z_{bu} = 267.4 \text{ mm}$

$N_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b) / \cos(\alpha_b) = 614.13 \text{ kN}$, $z_b = 534.8 \text{ mm}$, $z_{bo} = 267.4 \text{ mm}$

2.2. Grundkomponenten

2.2.1. Gk 5: Stirnblech mit Biegung



In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Überstehender Teil des Stirnblechs

Im überstehenden Teil des Stirnblechs wird nur eine Schraubenreihe ($n_b = 1$) betrachtet.

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 105.0 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 218.6 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 105.0 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 2.47 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 508.32 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 241.04 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 335.96 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 508.32 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 241.04 \text{ kN}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.0 \text{ N/mm}^2$

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 427.66 \text{ kN}$ ($\geq 241.04 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

Tragfähigkeit und effektive Länge eines Stirnblechs mit Biegung (Überstand)

$F_{t,ep,Rd,1} = 241.04 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 105.0 \text{ mm}$

Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 271.9 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 299.5 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 271.9 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 6.39 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 508.32 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 536.27 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 384.78 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 508.32 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 384.78 \text{ kN}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.0 \text{ N/mm}^2$

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 830.60 \text{ kN}$ ($\geq 384.78 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

Tragfähigkeiten und effektive Längen eines Stirnblechs mit Biegung (je Schraubenreihe):

$F_{ep,Rd,2} = 384.78 \text{ kN}$, $l_{eff,2} = 271.9 \text{ mm}$

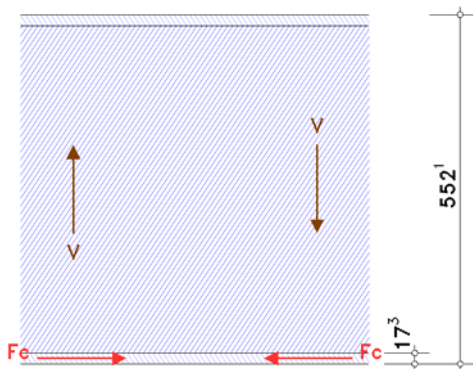
2.2.2. Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

Flansch unten: Querschnittsklasse für $c/(\varepsilon \cdot t) = 4.39$: 1

Steg: Querschnittsklasse für $\alpha = 0.52$ und $c/(\varepsilon \cdot t) = 42.13$: 1

Querschnittsklasse des Trägers: 1

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion $V_{Ed} = 116.7 \text{ kN}$



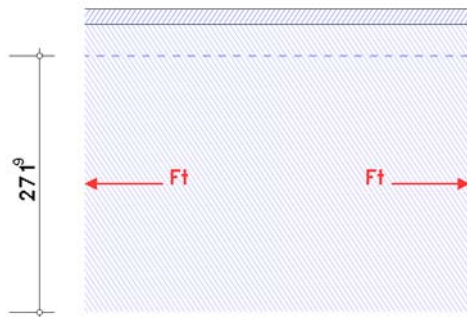
In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 116.7 \text{ kN} \leq 492.5 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss
 Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 642.25 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 2732.99 \text{ cm}^3$
 Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck
 $F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 1200.84 \text{ kN}$

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 116.7 \text{ kN} \leq 492.5 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss
 Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 642.25 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 2732.99 \text{ cm}^3$
 Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck
 $F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 1200.84 \text{ kN}$

2.2.3. Gk 8: Trägersteg mit Zugbeanspruchung



In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Für jede einzelne Schraubenreihe:

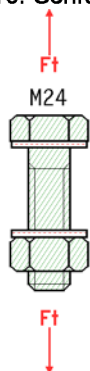
Reihe 2

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 271.9 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 709.3 \text{ kN}$$

2.2.4. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



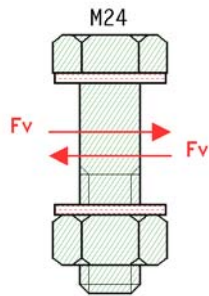
In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Zugtragfähigkeit einer Schraube $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 254.16 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$

Durchstantragfähigkeit $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 467.95 \text{ kN}$, $t_p = 20.0 \text{ mm}$

Zug-/Durchstantragfähigkeit für 2 Schrauben: $\Sigma F_{tp,Rd} = 2 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 508.32 \text{ kN}$

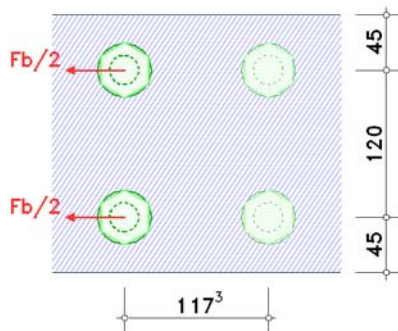
2.2.5. Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung



Abschertragfähigkeit je Scherfuge $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 217.15 \text{ kN}$, $\alpha_v = 0.60$
 Abschertragfähigkeit für 2 Schrauben (1-schnittig): $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 434.29 \text{ kN}$

2.2.6. Gk 12: Blech mit Lochleibungsbeanspruchung

In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.



Reihe 3

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 345.60 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 345.60 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 691.20 \text{ kN}$

2.3. Anschlusstragfähigkeit

2.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 593.5 \text{ mm}$, $h_2 = 476.2 \text{ mm}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 241.0 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 384.8 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd} = 625.8 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 5

Tragfähigkeit der Flansche

$\Sigma F_{c,Rd}^* = 2401.7 \text{ kN}$

Biegetragfähigkeit

$M_{j,Rd} = \Sigma (F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 326.3 \text{ kNm}$

Zugtragfähigkeit

$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 625.8 \text{ kN}$

Drucktragfähigkeit

$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 2401.7 \text{ kN}$

2.3.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

$\Sigma F_{vr,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

2.3.3. Gesamt

$$M_{j,Rd} = 326.3 \text{ kNm} \quad N_{j,t,Rd} = 625.8 \text{ kN} \quad N_{j,c,Rd} = 2401.7 \text{ kN} \quad V_{j,Rd} = 434.3 \text{ kN}$$

2.4. Nachweise

2.4.1. Nachweis der Anschlussstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Normalkraft: $N_{b,Ed} = |N_d \cdot \cos(\alpha) + V_d \cdot \sin(\alpha)| = 50.10 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 158.52 \text{ kN} \Rightarrow \text{Biegetragfähigkeit}$
Biegemoment: $M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu} = 292.84 \text{ kNm}, \quad z_{bu} = 265.7 \text{ mm}$
Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 111.89 \text{ kN}$

$$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.898 < 1 \quad \text{ok}$$

2.4.2. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.898 < 1 \quad \text{ok}$

2.5. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 2 Zug-Schraubenreihen:

1: $k_s = 11.01 \text{ mm}, \quad k_{t0} = 8.62 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 3.360 \text{ mm}$

2: $k_s = 18.08 \text{ mm}, \quad k_{t0} = 8.62 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 4.413 \text{ mm}$

$$k_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) / z_{eq} = 7.680 \text{ mm}, \quad z_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) = 533.3 \text{ mm}$$

Rotationssteifigkeit

Anfangsrotationssteifigkeit: $S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 458668.5 \text{ kNm/rad}, \quad z = z_{eq} = 533.3 \text{ mm}, \quad \Sigma(1/k_i) = 0.130 \text{ mm}^{-1}$

$$|N_{b,Ed}| = 50.10 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 158.52 \text{ kN} \quad \text{ok}$$

$$|M_{j,Ed}| = 292.84 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,Rd} = 217.5 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^\Psi = 2.232, \quad \Psi = 2.7$$

$$\text{Rotationssteifigkeit: } S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 205493.9 \text{ kNm/rad}$$

$$\text{Verdrehung: } \varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.082^\circ$$

3. Endergebnis

Ausnutzung/Rotation der Verbindung

Lk					Gleichgewicht		
	$S_{j,ini}$	S_j	φ_j	U_j	ΣH	ΣV	ΣM
--	MNm/rad	MNm/rad	°		kN	kN	kNm
1	458.7	205.5	0.082	0.898*	60.08	111.89	308.80 !!

$S_{j,ini}$: Anfangsrotationssteifigkeit; S_j : Rotationssteifigkeit; φ_j : Verdrehung; U_j : Ausnutzung der Verbindung; Gleichgewichtstoleranzen 1 kN / 1 kNm
*) maximale Ausnutzung

Maximale Ausnutzung:

$$\max U = 0.898 < 1 \quad \text{ok}$$

Minimale Rotationssteifigkeit:

$$\min S_j = 205.5 \text{ MNm/rad}, \quad S_{j,ini} = 458.7 \text{ MNm/rad}, \quad \varphi_j = 0.082^\circ$$

Nachweis erbracht