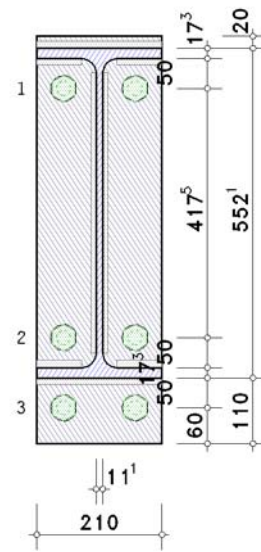
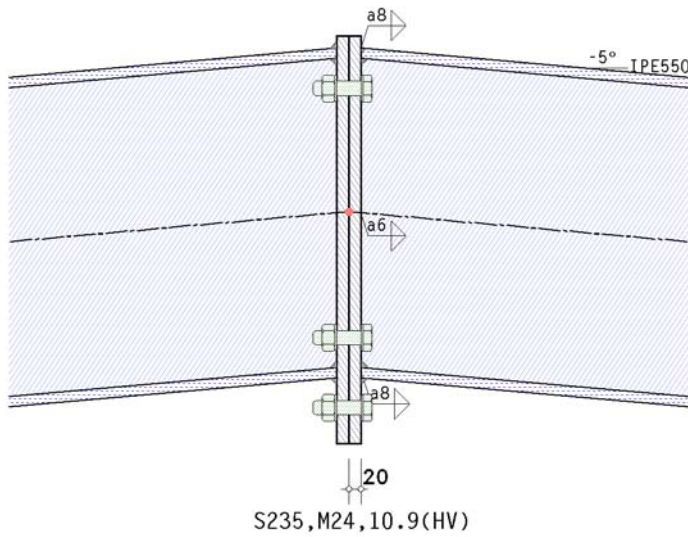
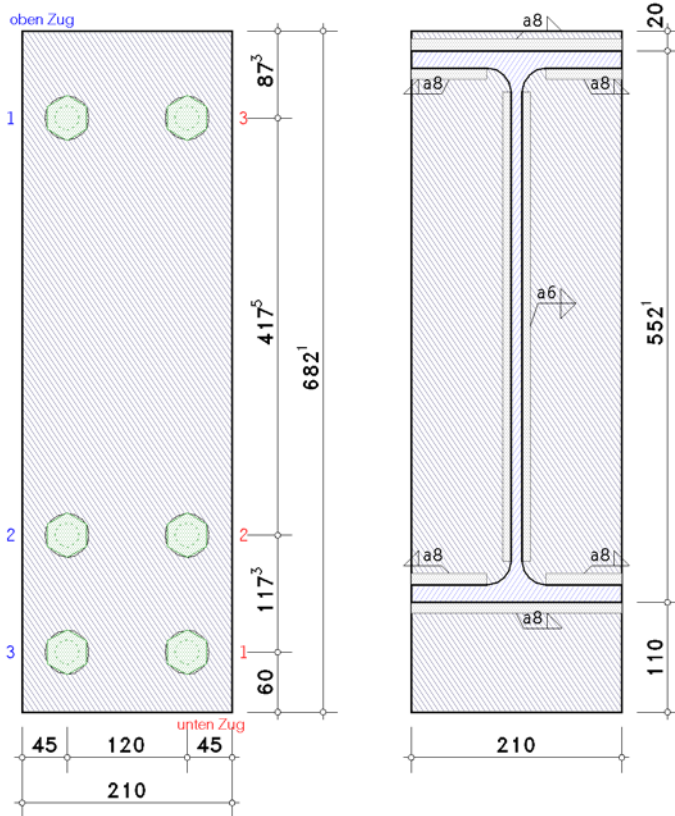


1. Eingabeprotokoll



Details (Schnitt A - A)



Stahlsorte

Stahlgüte S235

Schrauben

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M24

große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt (zur Info: Regelvorspannkraft $F_{p,c^*} = 0.7 \cdot f_{yb} \cdot A_s = 222.1$ 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 $t_p = 20.0$ mm, Breite $b_p = 210.0$ mm, Länge $l_p = 682.1$ mm

Überstände $h_{p,o} = 20.0$ mm, $h_{p,u} = 110.0$ 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)
 Schraubengruppen automatisch bilden, Berücks. aller Gruppen bzgl. Reihe 1
 Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 45.0$ mm
 Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 87.3$ mm
 Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 60.0$ mm
 Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 417.5$ mm, $p_{2-3} = 117.3$ mm

Schweißnähte im Anschluss:

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

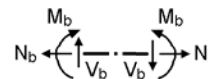
Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 6.0$ mm

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

Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen

Lk 1: Ek 3 (bzgl. rechter Rahmenecke)

$N_{j,b,Ed} = -50.10$ kN $M_{j,b,Ed} = 308.80$ kNm $V_{j,b,Ed} = 116.70$ 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 $\gamma_{M7} = 1.10$

Hinweise

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

Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

Die Querschnittsprofile werden nicht nachgewiesen.

Die Schweißnähte werden bei Ermittlung der T-Stummel-Tragfähigkeit nicht berücksichtigt.

Die Schweißnähte werden nicht überprüft.

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

Datencheck

ok

Schraubenabstände am Stirnblech

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

$e_2 = 45.0$ mm $< 4t + 40$ mm = 120.0 mm

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

$p_2 = 120.0$ mm $< \min(14t, 200$ mm) = 200.0 mm

oben-unten: $e_1 = 87.3$ mm $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$ mm,

$e_1 = 87.3$ mm $< 4t + 40$ mm = 120.0 mm

oben-unten: $e_1 = 65.4$ mm $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$ mm,

$e_1 = 65.4$ mm $< 4t + 40$ mm = 120.0 mm

oben-unten: $p_1 = 417.5$ mm $> 2.2 \cdot d_0 = 57.2$ mm,

$p_1 = 417.5$ mm $> \min(14t, 200$ mm) = 200.0 mm !!

oben-unten: $p_1 = 117.3$ mm $> 2.2 \cdot d_0 = 57.2$ mm,

$p_1 = 117.3$ mm $< \min(14t, 200$ mm) = 200.0 mm

oben-unten: $e_1 = 60.0$ mm $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$ mm,

$e_1 = 60.0$ mm $< 4t + 40$ mm = 120.0 mm

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

2. Ergebnistabelle

Ausnutzung/Rotation

Lk	U_m	U_v	U	$S_{j,ini}$	S_j	φ_j
--	---	---	---	MNm/rad	MNm/rad	°
1	0.897	0.258	0.897*	840.6	280.2	0.060

U_m : Ausnutzung aus Biegung; U_v : Ausnutzung aus Abscheren/Lochleibung; U: Ausnutzung der Verbindung

$S_{j,ini}$: Anfangsrotationssteifigkeit; S_j : Rotationssteifigkeit; φ_j : Verdrehung

*) maximale Ausnutzung

3. Endergebnis

Maximale Ausnutzung:

max U = 0.897 < 1 ok

Minimale Rotationssteifigkeit:

min $S_j = 280.2$ MNm/rad, $S_{j,ini} = 840.6$ MNm/rad, $\varphi_j = 0.060^\circ$

Nachweis erbracht

4. Vorschriften

EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung;

Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010, Ausgabe Dezember 2010

EN 1990/NA, Nationaler Anhang zur EN 1990, Ausgabe Dezember 2010

EN 1993-1-1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -

Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau;

Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2022, Ausgabe April 2025

EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-1, Ausgabe Oktober 2022

EN 1993-1-8, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -

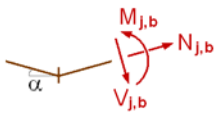
Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen;



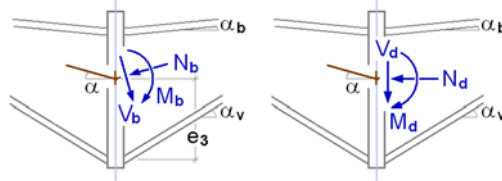
5. Lk 1 (maßgebend)

5.1. Bemessungsgrößen

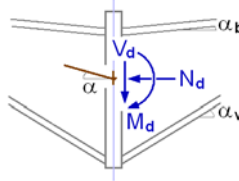
Knotenschnittgrößen



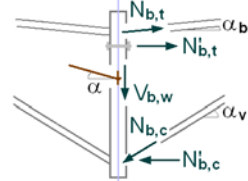
Anschnitt Anschluss



⊥ 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 Ansnchnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d + N_d \cdot t_p \cdot \tan(\alpha) - V_d \cdot t_p = 311.14 \text{ kNm}$

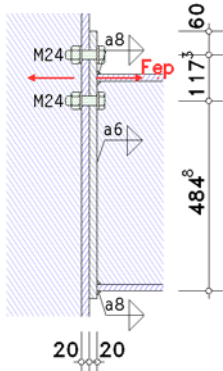
$N_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu} / z_b + M'_d / z_b) / \cos(\alpha_b) = 553.82 \text{ kN}$, $z_b = 534.8 \text{ mm}$, $z_{bu} = 267.4 \text{ mm}$

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

$V_{b,t} = -N_{b,t} \cdot \sin(\alpha_b) = -48.27 \text{ kN}$, $V_{b,c} = N_{b,c} \cdot \sin(\alpha_v) = 53.53 \text{ kN}$, $V_{b,w} = V_d - V_{b,t} - V_{b,c} = -117.15 \text{ kN}$

5.2. Grundkomponenten

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

$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 253.80 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 507.60 \text{ kN}$

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

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 335.56 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 507.60 \text{ kN}$

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 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: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 273.8 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 299.5 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 273.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 6.43 \text{ kNm}$

$$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 253.80 \text{ kN}, \quad k_2 = 0.90$$

$$\text{für Modus 3: } \Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 507.60 \text{ kN}$$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 539.90 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 385.36 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 507.60 \text{ kN}$$

$$\text{Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: } F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 385.36 \text{ kN}$$

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

$$F_{ep,Rd,2} = 385.36 \text{ kN}, \quad l_{eff,2} = 273.8 \text{ mm}$$

5.2.2. Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

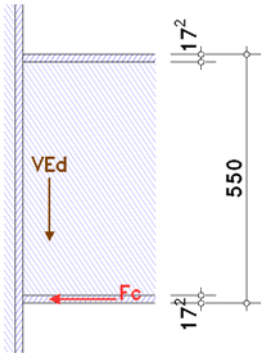
Flansch unten: Q-Klasse 1

Steg: Q-Klasse 1

Gesamt: Q-Klasse 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: $V_{Ed} = 116.7 \text{ kN} \leq 490.8 \text{ kN} = 0.5 \cdot V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss

$$\text{Tragfähigkeit } M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 654.87 \text{ kNm}, \quad W_{pl} = 2786.67 \text{ cm}^3$$

Tragfähigkeit eines Flanschs und Stegs mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 1229.11 \text{ kN}$$

bezogen auf die Betrachtungsebene $F_{c,f,Rd} \cdot \cos(\alpha_b) = 1224.43 \text{ kN}$

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 116.7 \text{ kN} \leq 490.8 \text{ kN} = 0.5 \cdot V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss

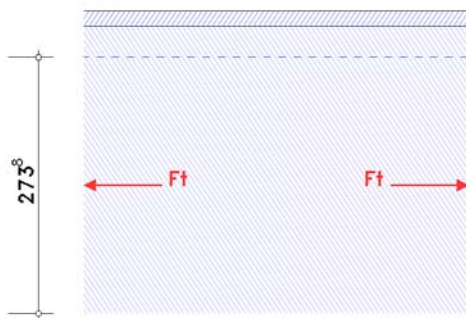
$$\text{Tragfähigkeit } M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 654.87 \text{ kNm}, \quad W_{pl} = 2786.67 \text{ cm}^3$$

Tragfähigkeit eines Flanschs und Stegs mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 1229.11 \text{ kN}$$

bezogen auf die Betrachtungsebene $F_{c,f,Rd} \cdot \cos(\alpha_b) = 1224.43 \text{ kN}$

5.2.3. 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

$$\text{wirksame Breite } b_{eff,t,wb} = 273.8 \text{ mm} \quad (l_{eff} \text{ aus Gk 5})$$

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

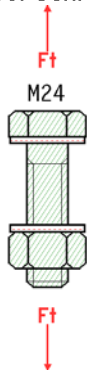
$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 714.08 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zug (je Schraubenreihe)

$$F_{t,wb,Rd,2} = 714.08 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wb} = 273.8 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 5})$$

Tragfähigkeiten eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung (je Schraubengruppe):

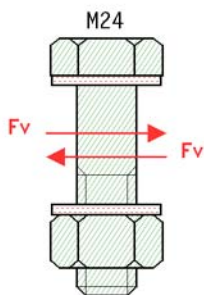
5.2.4. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



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

Zugtragfähigkeit einer Schraube $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 253.80 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$
 Durchstanztragfähigkeit einer Schraube $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 467.95 \text{ kN}$, $t_p = 20.0 \text{ mm}$
 Zug-/Durchstanztragfähigkeit für 2 Schrauben: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 507.60 \text{ kN}$

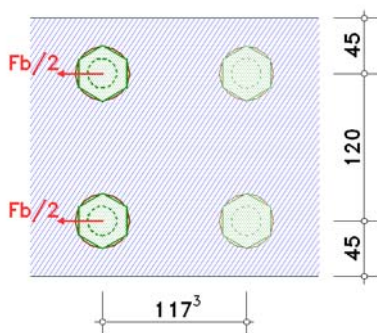
5.2.5. Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung



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

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

5.2.6. 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 $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 414.72 \text{ kN}$, $k_m = 1.00$, $\alpha_b = 3.00$
 Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 414.72 \text{ kN}$, $k_m = 1.00$, $\alpha_b = 3.00$
 Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 737.28 \text{ kN}$

5.3. Anschlusstragfähigkeit

5.3.1. Biegetragfähigkeit

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

Tragfähigkeiten nach EC 3-1-8, B.3.2.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

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

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 385.4 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

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

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 385.4 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 626.4 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, B.3.2.2(7)

maßgebende Grundkomponente: 7

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

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 385.4 \text{ kN}$

Kontrolle nach EC 3-1-8, B.3.2.2(9)

maßgebende Grundkomponente: 10

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

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

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

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 385.4 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{tr,Rd} = 626.4 \text{ kN}$$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 5

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$$\Sigma F_{c,Rd}^* = 2448.9 \text{ kN}$$

Biegetragfähigkeit

$$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 326.5 \text{ kNm}$$

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 626.4 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 2448.9 \text{ kN}$$

5.3.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

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

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

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

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Abscheren/Lochleibung)

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

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

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

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

5.3.3. Gesamt

$$M_{j,Rd} = 326.5 \text{ kNm} \quad N_{j,t,Rd} = 626.4 \text{ kN} \quad N_{j,c,Rd} = 2448.9 \text{ kN} \quad V_{j,Rd} = 434.3 \text{ kN}$$

5.4. Nachweise

5.4.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Normalkraft: $N_{b,Ed} = |N_d \cdot \cos(\alpha) + V_d \cdot \sin(\alpha)| = 50.10 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 158.52 \text{ kN} \Rightarrow$ Biegetragfähigkeit

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu} = 292.84 \text{ kNm}, \quad z_{bu} = 265.7 \text{ mm}$

Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 111.89 \text{ kN}$

$$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.897 < 1 \quad \text{ok}$$

5.4.2. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.897 < 1 \quad \text{ok}$

5.5. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 2 Zug-Schraubenreihen:

$$1: k_s = 11.01 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 5.505 \text{ mm}$$

$$2: k_s = 18.20 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 9.102 \text{ mm}$$

$$\text{äquivalenter innerer Hebelarm } z_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) = 526.59 \text{ mm}$$

$$\text{äquivalenter Steifigkeitskoeffizient } k_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) / z_{eq} = 14.435 \text{ mm}$$

Rotationssteifigkeit

$$\text{Anfangsrotationssteifigkeit: } S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 840594.8 \text{ kNm/rad}, \quad z = z_{eq} = 526.6 \text{ mm}, \quad \Sigma(1/k_i) = 0.069 \text{ mm}^{-1}$$

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

$$|M_{j,Ed}| = 292.84 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,Rd} = 217.70 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = 3.0$$

$$\text{Rotationssteifigkeit: } S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 280198.3 \text{ kNm/rad}$$

$$\text{Verdrehung: } \varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.060^\circ$$