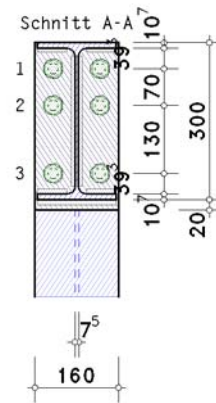
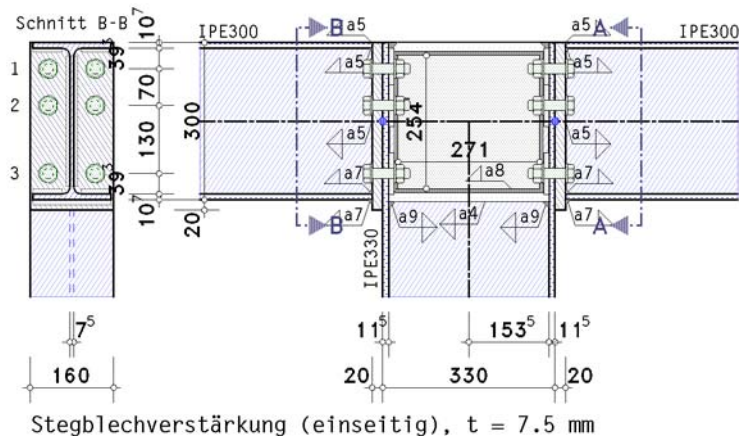


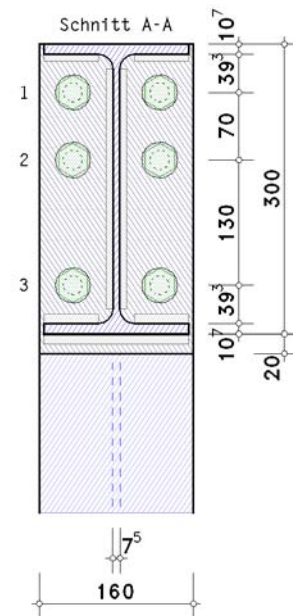
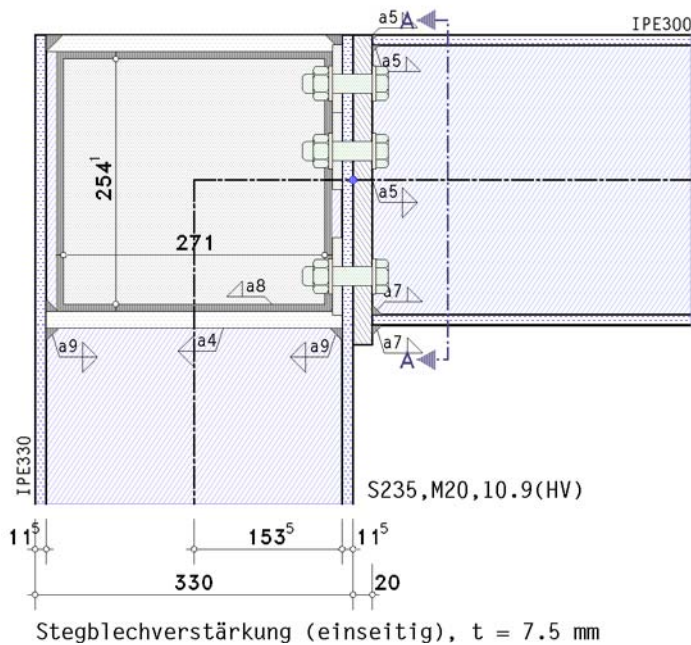
POS. 32: BEISPIEL GESCHRAUBT

T-Verbindung EC 3-1-8 (12.10), NA: Deutschland

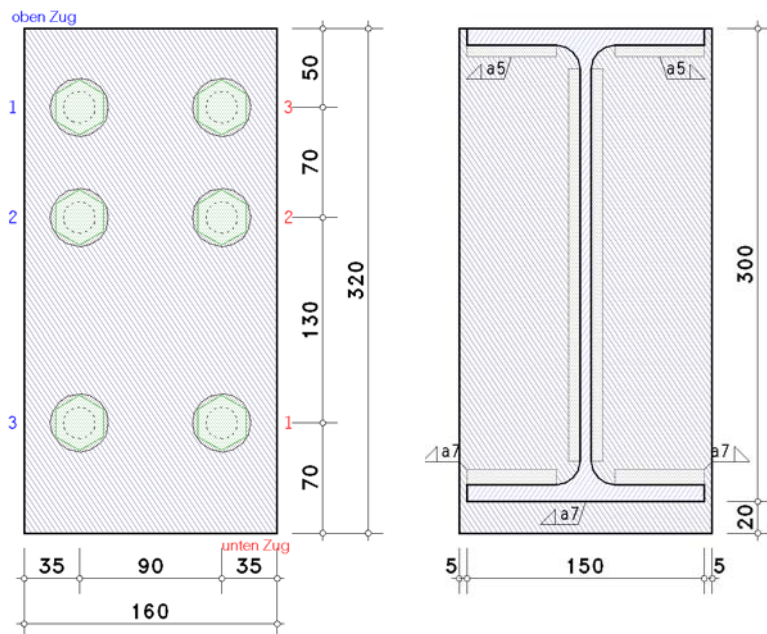
1. Eingabeprotokoll



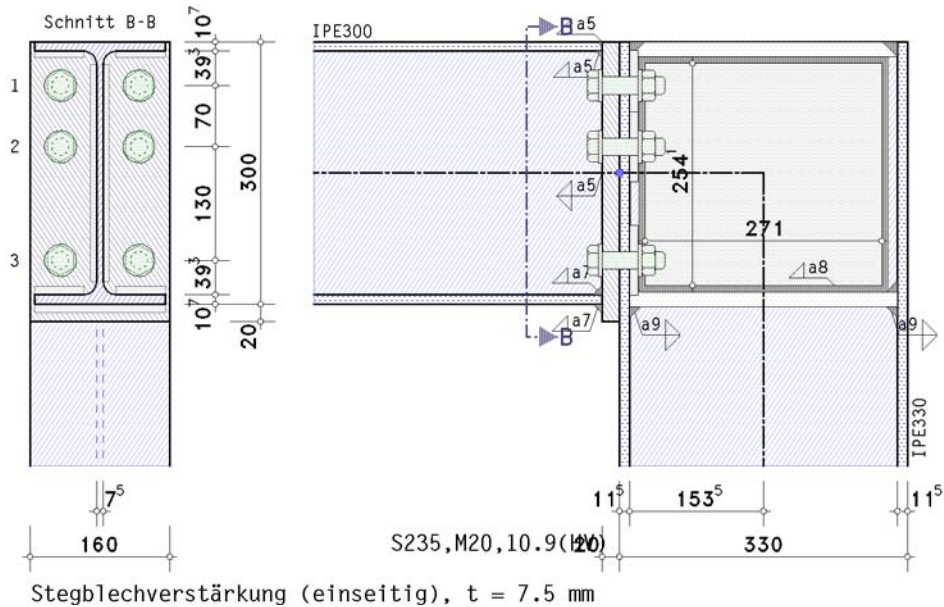
Anschluss rechts



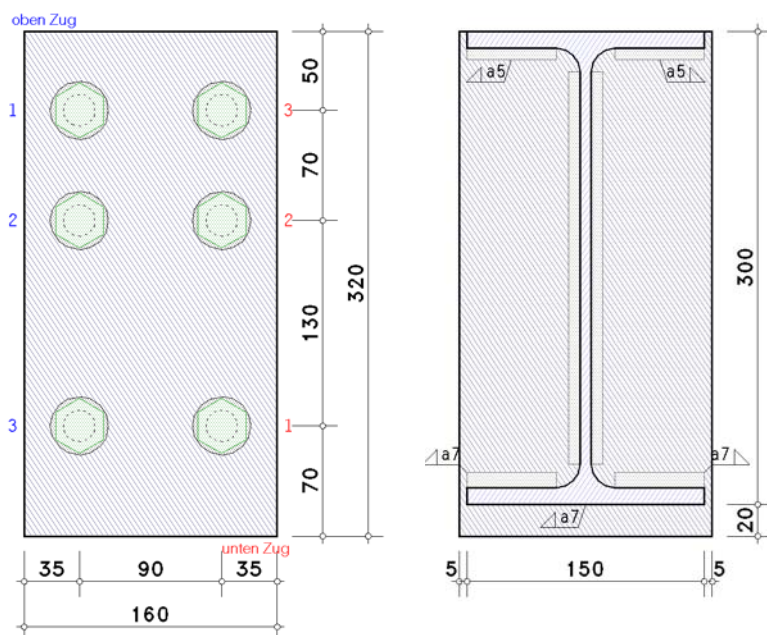
Details (Schnitt A - A)



Anschluss links



Details (Schnitt B - B)



Nach EC 3-1-8, 5.3 wird bei zweiseitigen Träger-Stützen-Verbindungen jede Anschlussseite unabhängig von der

anderen untersucht.

Stahlsorte

Stahlgüte S235

Parameter der Stütze

Profil IPE330

Verstärkung des Profils durch 1 Stegblech(e):

Dicke $t_s = 7.5$ mm, Breite $b_s = 271.0$ mm

Schweißnahtdicke $a_s = 7.5$ mm

Verstärkung des Profils durch Quersteifen (Stegsteifen in Höhe des max. Trägerzug- und -druckflanschs, $d_{st} = 286.1$ mm):

Dicke $t_{st} = 17.0$ mm, Breite $b_{st} = 76.3$ mm, Länge $l_{st} = 307.0$ mm

Aussparung an den Steifen $c_{st} = 27.0$ mm

Schweißnähte $a_{st,f} = 9.0$ mm, $a_{st,w} = 4.0$ mm

Zweiseitiger Träger-Stützenanschluss, rechts

Schrauben

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M20

große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt (zur Info: Regelvorspannkraft $F_{p,c^*} = 0.7 \cdot f_{yb} \cdot A_s = 154.3$ kN)

Schaft in der Scherfuge

Flanschverstärkung: Dicke $t_{bp} = 10.0$ mm, Breite $b_{bp} = 80.0$ mm, Länge $l_{bp} = 80.0$ mm

Parameter des Trägers

Profil IPE300

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss:

Dicke $t_p = 20.0$ mm, Breite $b_p = 160.0$ mm, Länge $l_p = 320.0$ mm

Überstände $h_{p,o} = 0.0$ mm, $h_{p,u} = 20.0$ mm

Schrauben im Anschluss:

3 Schraubenreihen mit je 2 Schrauben

alle Schraubenreihen einzeln betrachtet

alle Schraubenreihen zur Querkraftübertragung (Reihen 1-3)

Schraubengruppen automatisch bilden, Berücks. aller Gruppen bzgl. Reihe 1

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 35.0$ mm

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 50.0$ mm

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 70.0$ mm

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum freien Rand der Stütze (Endreihe) $e_1' = 50.0$ mm

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 70.0$ mm, $p_{2-3} = 130.0$ mm

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 5.0$ mm

Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 5.0$ mm

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 7.0$ mm

Zweiseitiger Träger-Stützenanschluss, links

Schrauben

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M20

große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt (zur Info: Regelvorspannkraft $F_{p,c^*} = 0.7 \cdot f_{yb} \cdot A_s = 154.3$ kN)

Schaft in der Scherfuge

Flanschverstärkung: Dicke $t_{bp} = 10.0$ mm, Breite $b_{bp} = 80.0$ mm, Länge $l_{bp} = 80.0$ mm

Parameter des Trägers

Profil IPE300

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss:

Dicke $t_p = 20.0$ mm, Breite $b_p = 160.0$ mm, Länge $l_p = 320.0$ mm

Überstände $h_{p,o} = 0.0$ mm, $h_{p,u} = 20.0$ mm

Schrauben im Anschluss:

3 Schraubenreihen mit je 2 Schrauben

alle Schraubenreihen einzeln betrachtet

alle Schraubenreihen zur Querkraftübertragung (Reihen 1-3)

Schraubengruppen automatisch bilden, Berücks. aller Gruppen bzgl. Reihe 1

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 35.0$ mm

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 50.0$ mm

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 70.0$ mm

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum freien Rand der Stütze (Endreihe) $e_1' = 50.0$ mm

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 70.0$ mm, $p_{2-3} = 130.0$ mm

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 5.0$ mm

Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 5.0$ mm

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 7.0$ mm

Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung senkrecht zur Anschlussebene

Lk 1: $N_{d1} = 300.00$ kN $M_{d1} = 80.00$ kNm $V_{d1} = 200.00$ kN

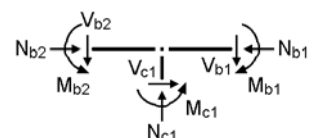
Lk 2: $N_{d1} = -140.00$ kN $M_{d1} = 80.00$ kNm $V_{d1} = 200.00$ kN

Lk 3: $M_{d1} = 80.00$ kNm $V_{d1} = 200.00$ kN

Materialsicherheitsbeiwerte

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

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



2. Lk 1

2.1. Anschluss rechts

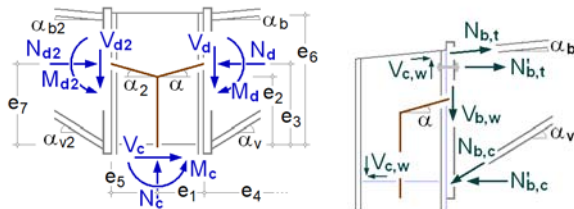
Hinweise

Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkkräfte. Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

2.1.1. Bemessungsgrößen

⊥ zur Anschlussebene

Teilschnittgrößen



Vorzeichendefinition des EC3: eine positive Normalkraft bedeutet Druck, ein positives Moment erzeugt oben Zug

Neigungswinkel: $\alpha_b = \alpha = \alpha_v = 0^\circ$

Neigungswinkel: $\alpha_{b2} = \alpha_2 = \alpha_{v2} = 0^\circ$

Abstände: $e_1 = 165.0$ mm, $e_3 = 144.6$ mm, $e_2 = 144.6$ mm, $e_5 = 165.0$ mm, $e_7 = 144.6$ mm, $e_6 = 286.1$ mm

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger (rechts)

$N_d = 300.00$ kN, $M_d = 80.00$ kNm, $V_d = 200.00$ kN

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_d \cdot t_{ep} = 76.00$ kNm

$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b = 112.70$ kN, $z_b = 289.3$ mm, $z_{bu} = 144.6$ mm

$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b = 412.70$ kN, $z_b = 289.3$ mm, $z_{bo} = 144.6$ mm

2.1.2. Querschnittstragfähigkeit

plastischer Querschnittsnachweis für $N = -300.00$ kN, $M_y = -76.00$ kNm, $V_z = 200.00$ kN

elastische Spannungen: $\max \sigma_x = 8.06$ kN/cm², $\min \sigma_x = -19.21$ kN/cm², $\max \tau = 10.59$ kN/cm²

zul. Normal-/Schubspannung: zul $\sigma_{Rd} = 23.50$ kN/cm², zul $\tau_{Rd} = 13.57$ kN/cm²

Obergurt: Grenznormalkräfte $N_{max,O} = 377.18$ kN, $N_{min,O} = -377.18$ kN

Untergurt: Grenznormalkräfte $N_{max,U} = 377.18$ kN, $N_{min,U} = -377.18$ kN

Steg: Querkraft $V_s = 200.00$ kN, Schubspannung $\tau_s = 9.74$ kN/cm² $\Rightarrow U_{\tau,s} = 0.718$

Grenznormalkräfte $N_{max,s} = 336.15$ kN, $N_{min,s} = -336.15$ kN

Hauptbieg.: Normalkraft $N = -300.00$ kN, Grenznormalkräfte $N_{max} = 1090.50$ kN, $N_{min} = -1090.50$ kN $\Rightarrow U_N = 0.275$

Moment $M_y = -76.00$ kNm, Grenzmomente $M_{y,max} = 114.06$ kNm, $M_{y,min} = -114.06$ kNm $\Rightarrow U_{My} = 0.666$

Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): $\max U = 0.830 < 1$ **ok**

Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_G = 0.830 < 1$ **ok**, c/t-Verhältnis $U_{c/t} = 0.394 < 1$ **ok**

Stirnblechanschluss: Grundkomponenten: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12

2.1.3. Anschlussstragfähigkeit

Übertragungsparameter: $\beta_j = 1.000$

2.1.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 244.6$ mm, $h_2 = 174.6$ mm, $h_3 = 44.6$ mm

Tragfähigkeiten nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 239.3$ kN

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 234.9$ kN

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 240.8$ kN

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stütze)

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

Gruppe 1

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0$ kN

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 540.8$ kN $F_{tr,Rd} = 239.3$ kN $< \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3$ kN

$$\begin{aligned} \text{Gk 4: } \Delta F_{tr,Rd} &= F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 453.3 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} \\ \text{Reihe 2: } \Sigma F_{tr,Rd} &= 239.3 \text{ kN} \text{ (aus Reihe 1)} \\ \text{Gk 3: } \Delta F_{tr,Rd} &= F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 301.5 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 234.9 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN} \\ \text{Gk 4: } \Delta F_{tr,Rd} &= F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 234.9 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} \end{aligned}$$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stirnblech)

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

Gruppe 1

$$\begin{aligned} \text{Reihe 1: } \Sigma F_{tr,Rd} &= 0.0 \text{ kN} \\ \text{Gk 5: } \Delta F_{tr,Rd} &= F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 530.1 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} \\ \text{Gk 8: } \Delta F_{tr,Rd} &= F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 455.4 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} \\ \text{Reihe 2: } \Sigma F_{tr,Rd} &= 239.3 \text{ kN} \text{ (aus Reihe 1)} \\ \text{Gk 5: } \Delta F_{tr,Rd} &= F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 290.8 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} \\ \text{Gk 8: } \Delta F_{tr,Rd} &= F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 216.1 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

$$\begin{aligned} \text{Reihe 1: } F_{tr,Rd} &= 239.3 \text{ kN} \\ \text{Reihe 2: } F_{tr,Rd} &= 214.0 \text{ kN} \\ \text{Reihe 3: } F_{tr,Rd} &= 240.8 \text{ kN} \\ \Sigma F_{tr,Rd}^* &= 694.1 \text{ kN} \end{aligned}$$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(7)

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

$$\begin{aligned} \text{Reihe 1: } \Sigma F_{tr,Rd} &= 0.0 \text{ kN} \\ \text{Gk 1: } \Delta F_{tr,Rd} &= V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 641.8 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} \\ \text{Gk 2: } \Delta F_{tr,Rd} &= F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 581.1 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} \\ \text{Gk 7: } \Delta F_{tr,Rd} &= F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 499.0 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} \\ \text{Reihe 2: } \Sigma F_{tr,Rd} &= 239.3 \text{ kN} \text{ (Reihe 1)} \\ \text{Gk 1: } \Delta F_{tr,Rd} &= V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 402.5 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} \\ \text{Gk 2: } \Delta F_{tr,Rd} &= F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 341.8 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} \\ \text{Gk 7: } \Delta F_{tr,Rd} &= F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 259.7 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} \\ \text{Reihe 3: } \Sigma F_{tr,Rd} &= 453.3 \text{ kN} \text{ (Reihen 1 bis 2)} \\ \text{Gk 1: } \Delta F_{tr,Rd} &= V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 240.8 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN} \\ \text{Gk 2: } \Delta F_{tr,Rd} &= F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 188.5 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN} \\ \text{Gk 7: } \Delta F_{tr,Rd} &= F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 45.7 \text{ kN} & F_{tr,Rd} &= 127.8 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 45.7 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrolle nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(9)

maßgebende Grundkomponente: 10

$$\begin{aligned} \text{Reihe 1: } F_{tx,Rd} &= 239.3 \text{ kN}, h_x = 244.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 335.2 \text{ kN}, \text{ keine Abminderung} \\ \text{Reihe 2: } F_{tx,Rd} &= 214.0 \text{ kN}, h_x = 174.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 335.2 \text{ kN}, \text{ keine Abminderung} \end{aligned}$$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

$$\begin{aligned} \text{Reihe 1: } F_{tr,Rd} &= 239.3 \text{ kN} \\ \text{Reihe 2: } F_{tr,Rd} &= 214.0 \text{ kN} \\ \text{Reihe 3: } F_{tr,Rd} &= 45.7 \text{ kN} \\ \Sigma F_{tr,Rd} &= 499.0 \text{ kN} \end{aligned}$$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 4, 7

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$$\Sigma F_{c,Rd}^* = 997.9 \text{ kN}$$

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_{tr}) = 98.0 \text{ kNm}$$

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 694.1 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 997.9 \text{ kN}$$

2.1.3.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

$$\begin{aligned} \text{Reihe 1: } F_{vr,Rd} &= 301.6 \text{ kN} \\ \text{Reihe 2: } F_{vr,Rd} &= 268.5 \text{ kN} \\ \text{Reihe 3: } F_{vr,Rd} &= 301.6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

$$\begin{aligned} \text{Reihe 1: } F_{vr,Rd} &= f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 155.5 \text{ kN} & \text{mit } f_{vt} &= 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.516 \\ \text{Reihe 2: } F_{vr,Rd} &= f_{vt} \cdot 268.5 \text{ kN} = 152.1 \text{ kN} & \text{mit } f_{vt} &= 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.567 \\ \text{Reihe 3: } F_{vr,Rd} &= f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 273.7 \text{ kN} & \text{mit } f_{vt} &= 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.908 \end{aligned}$$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

$$\begin{aligned} \text{Reihe 1: } F_{vr,Rd} &= 155.5 \text{ kN} \\ \text{Reihe 2: } F_{vr,Rd} &= 152.1 \text{ kN} \end{aligned}$$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 273.7 \text{ kN}$
 $\Sigma F_{vr,Rd} = 581.3 \text{ kN}$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 581.3 \text{ kN}$

2.1.3.3. Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

Stirnblech: $V_{ep,Rd} = \tau_{Rd} \cdot t \cdot l_{eff} = 674.59 \text{ kN}$, $\tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2$, $t = 20.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$

Scherfestigkeit: $f_{vw,d} = (f_u/3^{1/2}) / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 207.8 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$

Schweißnähte: $F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot l_{eff} \cdot f_{vw,d} = 516.71 \text{ kN}$, $a = 5.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs: $V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 516.71 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

$V_{wp,Rd}/\beta_j = 641.8 \text{ kN}$

2.1.3.4. Gesamt

$M_{j,Rd} = 98.0 \text{ kNm}$ $N_{j,t,Rd} = 694.1 \text{ kN}$ $N_{j,c,Rd} = 997.9 \text{ kN}$ $V_{j,Rd} = 581.3 \text{ kN}$ $V_{wp,Rd}/\beta_j = 641.8 \text{ kN}$ $V_{ep,Rd} = 516.7 \text{ kN}$

2.1.4. Nachweise

Zur Berechnung des inneren Hebelarms z_{eq} s. Rotationssteifigkeit

2.1.4.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Normalkraft: $N_{b,Ed} = |N_d| = 300.00 \text{ kN} > 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 63.23 \text{ kN} \Rightarrow$ Biege-/Drucktragfähigkeit

bzgl. der Trägerachse mit $N_{pl,Rd} = A_b \cdot f_{yb} / \gamma_{M0} = 1264.58 \text{ kN}$

Normalkraft: $N_{Ed} = |N_d| = 300.00 \text{ kN}$

senkr. z. Anschlussebene

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d = 80.00 \text{ kNm}$

senkr. z. Anschlussebene

Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 200.00 \text{ kN}$

paral. z. Anschlussebene

Schubkraft: $V_{c,w,Ed} = (M_{d1,w} - M_{d2,w})/z - (V_{c1} - V_{c2})/2 = 413.99 \text{ kN}$, $M_{d1,w} = 82.3 \text{ kNm}$, $M_{d2,w} = 0.0 \text{ kNm}$, $z = 198.8 \text{ mm}$
im Stützensteg

Biege-/Drucktragfähigkeit

$N_{Ed}/N_{j,c,Rd} + M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.301 + 0.817 = 1.117 > 1$ **Fehler !!**

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit bei 100%-iger Ausnutzung der Biegetragfähigkeit

$V_{Ed}/V_{j,Rd} = 0.344 < 1$ **ok**

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

$V_{c,w,Ed}/(V_{wp,Rd}/\beta_j) = 0.645 < 1$ **ok**

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

$V_{Ed}/V_{ep,Rd} = 0.387 < 1$ **ok**

2.1.4.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

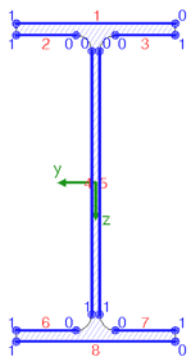
Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 150.0 \text{ mm}$
Naht 2:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 56.5 \text{ mm}$
Naht 3:	siehe Naht 2	
Naht 4:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 248.6 \text{ mm}$
Naht 5:	siehe Naht 4	
Naht 6:	$a_w = 7.0 \text{ mm}$	$l_w = 56.5 \text{ mm}$
Naht 7:	siehe Naht 6	
Naht 8:	$a_w = 7.0 \text{ mm}$	$l_w = 150.0 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$N_{Ed} = -300.00 \text{ kN}$, $M_{y,Ed} = -80.00 \text{ kNm}$, $V_{z,Ed} = 200.00 \text{ kN}$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$\Sigma A_w = 56.41 \text{ cm}^2$, $A_{w,z} = 24.86 \text{ cm}^2$, $\Sigma l_w = 102.3 \text{ cm}$

$I_{w,y} = 7855.63 \text{ cm}^4$, $I_{w,z} = 673.03 \text{ cm}^4$, $W_{w,t} = 53.81 \text{ cm}^3$, $\Delta z_w = 13.6 \text{ mm}$

Spannungen in den Endpunkten der Nähte:

Naht 1, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 113.38 \text{ N/mm}^2$
 Naht 2, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 102.48 \text{ N/mm}^2$
 Naht 3, Pkt. 0: siehe Naht 2
 Pkt. 1: siehe Naht 2
 Naht 4, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 87.20 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 80.45 \text{ N/mm}^2$
 Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -165.97 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 80.45 \text{ N/mm}^2$
 Naht 5, Pkt. 0: siehe Naht 4
 Pkt. 1: siehe Naht 4
 Naht 6, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -181.24 \text{ N/mm}^2$
 Naht 7, Pkt. 0: siehe Naht 6
 Pkt. 1: siehe Naht 6
 Naht 8, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -192.14 \text{ N/mm}^2$

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

Nachweis für Naht 1, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 113.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 5.67 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 10.39 \text{ kN/cm, } f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2, a = 5.0 \text{ mm}$$

$$F_{w,Ed} = 5.67 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10.39 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.545 < 1 \text{ ok}$$

Nachweis für Naht 2, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 102.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 5.12 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 10.39 \text{ kN/cm, } f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2, a = 5.0 \text{ mm}$$

$$F_{w,Ed} = 5.12 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10.39 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.493 < 1 \text{ ok}$$

Nachweis für Naht 4, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_{w,x}^2 + \tau_{w,z}^2)^{1/2} = 118.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 5.93 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 10.39 \text{ kN/cm, } f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2, a = 5.0 \text{ mm}$$

$$F_{w,Ed} = 5.93 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10.39 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.571 < 1 \text{ ok}$$

Nachweis für Naht 4, Pkt. 1:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_{w,x}^2 + \tau_{w,z}^2)^{1/2} = 184.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 9.22 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 10.39 \text{ kN/cm, } f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2, a = 5.0 \text{ mm}$$

$$F_{w,Ed} = 9.22 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10.39 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.887 < 1 \text{ ok}$$

Nachweis für Naht 6, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 181.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 12.69 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 14.55 \text{ kN/cm, } f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2, a = 7.0 \text{ mm}$$

$$F_{w,Ed} = 12.69 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 14.55 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.872 < 1 \text{ ok}$$

Nachweis für Naht 8, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 192.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 13.45 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 14.55 \text{ kN/cm, } f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2, a = 7.0 \text{ mm}$$

$$F_{w,Ed} = 13.45 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 14.55 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.924 < 1 \text{ ok}$$

Ergebnis:

$$\text{Naht 8, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = -192.14 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Max: } F_{w,Ed} = 13.45 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 14.55 \text{ kN/cm} \Rightarrow U_w = 0.924 < 1 \text{ ok}$$

2.1.4.3. Nachweis der Stegsteifen

$$N_{R,t} = (-N_d \cdot z_{bu} + M_d) / z = 184.13 \text{ kN, } z = z_{eq} = 198.8 \text{ mm, } z_{bu} = 144.6 \text{ mm}$$

$$N_{R,c} = (N_d \cdot z_{bo} + M_d) / z = 484.13 \text{ kN, } z = z_{eq} = 198.8 \text{ mm, } z_{bo} = 54.1 \text{ mm}$$

Drucksteife

$$F_{c,Ed} = N_{R,c} = 484.13 \text{ kN}$$

Die Schweißnähte werden mit dem vereinfachten Verfahren nachgewiesen.

Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

$$b_R = b_{st} = 76.3 \text{ mm, } b_1 = b_R - r_R = 49.3 \text{ mm, } e_F = b_R - 0.5 \cdot b_1 = 51.6 \text{ mm mit } r_R = 27.0 \text{ mm}$$

$$l_R = l_{st} = 307.0 \text{ mm, } l_1 = l_R - 2 \cdot r_R = 253.0 \text{ mm, } e_H = l_R = 307.0 \text{ mm, } t_R = 17.0 \text{ mm}$$

$$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 176.3 \text{ kN, } H = F \cdot e_F / e_H = 29.6 \text{ kN}$$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet (Nachweisverfahren 'Elastisch-Plastisch' $\Rightarrow$ max. Q-Klasse 2)

$$c/t\text{-Verhältnis } c/t = 4.49 \leq 33.00 = 33 \cdot \epsilon, \epsilon = (235/f_y)^{1/2} = 1.00 \Rightarrow \text{Q-Klasse } 1 \leq 2 \Rightarrow \text{Voraussetzung erfüllt !!}$$

Querschnitt am Flansch

$$\text{Drucktragfähigkeit } N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 196.75 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 183.6 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 183.6 \text{ kN} < F_{Rd} = 196.8 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.933 < 1 \text{ ok}$$

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = 708.10 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 176.3 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 176.3 \text{ kN} < F_{Rd} = 708.1 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.249 < 1$ **ok**

Schweißnähte am Flansch

Kehlnaht mit $a = 9.0 \text{ mm}$

Nahtdicke $a = 9.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 8.0 \text{ mm}$ **!!**

Nahtdicke $a = 9.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 8.0 \text{ mm}$ **!!**

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 18.71 \text{ kN/cm}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 9.0 \text{ mm}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + H^2)^{1/2} / (2 \cdot b_1) = 18.15 \text{ kN/cm}$

0% Spannungsabtrag über Druckkontakt

$F_{Ed} = 18.15 \text{ kN/cm} < F_{Rd} = 18.71 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.970 < 1$ **ok**

Schweißnähte am Steg

Kehlnaht mit $a = 4.0 \text{ mm}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 8.31 \text{ kN/cm}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 4.0 \text{ mm}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F / (2 \cdot l_1) = 3.48 \text{ kN/cm}$

0% Spannungsabtrag über Druckkontakt

$F_{Ed} = 3.48 \text{ kN/cm} < F_{Rd} = 8.31 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.419 < 1$ **ok**

Zugsteife

$F_{t,Ed} = N_{R,t} = 184.13 \text{ kN}$

Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

$b_R = b_{st} = 76.3 \text{ mm}$, $b_1 = b_R - r_R = 49.3 \text{ mm}$, $e_F = b_R - 0.5 \cdot b_1 = 51.6 \text{ mm}$ mit $r_R = 27.0 \text{ mm}$

$l_R = l_{st} = 307.0 \text{ mm}$, $l_1 = l_R - 2 \cdot r_R = 253.0 \text{ mm}$, $e_H = l_R = 307.0 \text{ mm}$, $t_R = 17.0 \text{ mm}$

$R = 0.5 \cdot F_{t,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 67.0 \text{ kN}$, $H = F \cdot e_F / e_H = 11.3 \text{ kN}$

Querschnitt am Flansch

Zugtragfähigkeit $N_{t,Rd} = 196.75 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 69.8 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 69.8 \text{ kN} < F_{Rd} = 196.8 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.355 < 1$ **ok**

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = 708.10 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 67.0 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 67.0 \text{ kN} < F_{Rd} = 708.1 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.095 < 1$ **ok**

2.1.4.4. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 1.117 > 1$ **Fehler !!**

Versagen beim Nachweis für Biegung: $U = 1.117$

2.1.5. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 3 Zug-Schraubenreihen:

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 1:

$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 22.69 \text{ mm}$, $l_{eff} = 144.5 \text{ mm}$, $m = 35.8 \text{ mm}$

$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}$, $L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m) / 2 = 63.8 \text{ mm}$, $t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$

$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 3.26 \text{ mm}$, $b_{eff,t,wc} = 168.4 \text{ mm}$

$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_c^3 / m^3 = 9.04 \text{ mm}$, $l_{eff} = 127.8 \text{ mm}$, $m = 26.9 \text{ mm}$

$\Sigma(1/k_{i,1}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.624 \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 1.603 \text{ mm}$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 2:

$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 20.17 \text{ mm}$, $l_{eff} = 128.5 \text{ mm}$, $m = 35.8 \text{ mm}$

$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}$, $L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m) / 2 = 63.8 \text{ mm}$, $t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$

$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 2.93 \text{ mm}$, $b_{eff,t,wc} = 151.2 \text{ mm}$

$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_c^3 / m^3 = 7.82 \text{ mm}$, $l_{eff} = 110.6 \text{ mm}$, $m = 26.9 \text{ mm}$

$\Sigma(1/k_{i,2}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.682 \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 1.467 \text{ mm}$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 3:

$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 31.87 \text{ mm}$, $l_{eff} = 203.0 \text{ mm}$, $m = 35.8 \text{ mm}$

$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}$, $L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m) / 2 = 63.8 \text{ mm}$, $t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$

$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 3.27 \text{ mm}$, $b_{eff,t,wc} = 168.7 \text{ mm}$

$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_c^3 / m^3 = 11.93 \text{ mm}$, $l_{eff} = 168.7 \text{ mm}$, $m = 26.9 \text{ mm}$

$\Sigma(1/k_{i,3}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.584 \Rightarrow k_{eff,3} = 1 / \Sigma(1/k_{i,3}) = 1.713 \text{ mm}$

äquivalenter innerer Hebelarm: $z_{eq} = \Sigma(k_{eff,i} \cdot r_i^2) / \Sigma(k_{eff,i} \cdot r_i) = 198.8 \text{ mm}$

$k_{eq} = \Sigma(k_{eff,i} \cdot r_i) / z_{eq} = 3.646 \text{ mm}$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 1:

$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 9.77 \text{ mm}$, $A_{vc} = 51.13 \text{ cm}^2$, $\beta = 1.0$, $z = 198.8 \text{ mm}$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 2:

$k_2 = \infty$ (ausgesteift)

Summe der Steifigkeitskoeffizienten $\Sigma(1/k_i) = 1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_{eq} = 0.377$

Rotationssteifigkeit

Anfangsrotationssteifigkeit: $S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 22037.8 \text{ kNm/rad}$, $z = z_{eq} = 198.8 \text{ mm}$

Biegemomente im Anschluss bzgl. des Druckpunkts: $M_{j,Ed} = 36.61 \text{ kNm}$, $M_{j,Rd} = 97.96 \text{ kNm}$

Normalkraft im Träger: $N_{b,Ed} = N_d = 300.00 \text{ kN}$

$N_{b,Ed} = 300.00 \text{ kN} > 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 63.23 \text{ kN} \Rightarrow$ Rotationssteifigkeit ggf. ungenau **!!**

mit $N_{pl,Rd} = A_b \cdot f_{yb} / \gamma_{M0} = 1264.58 \text{ kN}$
 $M_{j,Ed} = 36.61 \text{ kNm} \leq 2/3 M_{j,Rd} = 65.3 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = 1$
 Rotationssteifigkeit: $S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 22037.8 \text{ kNm/rad}$
 Verdrehung: $\varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.095^\circ$

2.2. Anschluss links

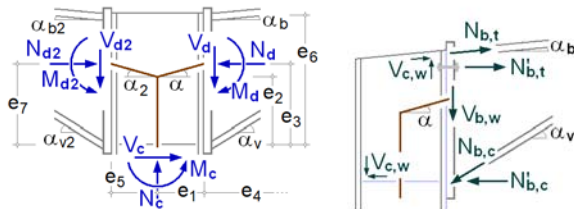
Hinweise

Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkkräfte.
 Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

2.2.1. Bemessungsgrößen

⊥ zur Anschlussebene

Teilschnittgrößen



Vorzeichendefinition des EC3: eine positive Normalkraft bedeutet Druck, ein positives Moment erzeugt oben Zug

Neigungswinkel: $\alpha_b = \alpha = \alpha_v = 0^\circ$

Neigungswinkel: $\alpha_{b2} = \alpha_2 = \alpha_{v2} = 0^\circ$

Abstände: $e_1 = 165.0 \text{ mm}$, $e_3 = 144.6 \text{ mm}$, $e_2 = 144.6 \text{ mm}$, $e_5 = 165.0 \text{ mm}$, $e_7 = 144.6 \text{ mm}$, $e_6 = 286.1 \text{ mm}$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger (links)

$N_{d2} = 300.00 \text{ kN}$, $M_{d2} = 80.00 \text{ kNm}$, $V_{d2} = 200.00 \text{ kN}$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_{d2} \cdot e_p = 0.00 \text{ kNm}$

2.2.2. Querschnittstragfähigkeit

Stirnblechanschluss: Grundkomponenten: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12

2.2.3. Anschlussstragfähigkeit

Übertragungsparameter: $\beta_j = 1.000$

2.2.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 244.6 \text{ mm}$, $h_2 = 174.6 \text{ mm}$, $h_3 = 44.6 \text{ mm}$

Tragfähigkeiten nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stütze)

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

Gruppe 1

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 540.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 453.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 301.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stirnblech)

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

Gruppe 1

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 530.1 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 455.4 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)

Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 290.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 216.1 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 694.1 \text{ kN}$$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(7)

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

$$\text{Gk 1: } \Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 641.8 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 2: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 581.1 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 7: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 510.1 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ (Reihe 1)

$$\text{Gk 1: } \Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 402.5 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 2: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 341.8 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 7: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 270.8 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$$

Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 453.3 \text{ kN}$ (Reihen 1 bis 2)

$$\text{Gk 1: } \Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 2: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 7: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 56.8 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 56.8 \text{ kN}$$

Kontrolle nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(9)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 239.3 \text{ kN}$, $h_x = 244.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 335.2 \text{ kN}$, keine Abminderung

Reihe 2: $F_{tx,Rd} = 214.0 \text{ kN}$, $h_x = 174.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 335.2 \text{ kN}$, keine Abminderung

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 56.8 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{tr,Rd} = 510.1 \text{ kN}$$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 4, 7

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$$\Sigma F_{c,Rd}^* = 1020.3 \text{ kN}$$

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 98.5 \text{ kNm}$$

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 694.1 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 1020.3 \text{ kN}$$

2.2.3.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

$$\text{Reihe 1: } F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 155.5 \text{ kN} \quad \text{mit } f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.516$$

$$\text{Reihe 2: } F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 170.9 \text{ kN} \quad \text{mit } f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.567$$

$$\text{Reihe 3: } F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 266.9 \text{ kN} \quad \text{mit } f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.885$$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 155.5 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 170.9 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 266.9 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{vr,Rd} = 593.3 \text{ kN}$$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 593.3 \text{ kN}$$

2.2.3.3. Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

$$\text{Stirnblech: } V_{ep,Rd} = \tau_{Rd} \cdot t \cdot l_{eff} = 674.59 \text{ kN}, \quad \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2, \quad t = 20.0 \text{ mm}, \quad l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$$

$$\text{Scherfestigkeit: } f_{vw,d} = (f_u/3^{1/2}) / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 207.8 \text{ N/mm}^2, \quad f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2, \quad \beta_w = 0.80$$

$$\text{Schweißnähte: } F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot l_{eff} \cdot f_{vw,d} = 516.71 \text{ kN}, \quad a = 5.0 \text{ mm}, \quad l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$$

$$\text{Schubtragfähigkeit des Stirnblechs: } V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 516.71 \text{ kN}$$

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

$$V_{wp,Rd}/\beta_j = 641.8 \text{ kN}$$

2.2.3.4. Gesamt

$$M_{j,Rd} = 98.5 \text{ kNm} \quad N_{j,t,Rd} = 694.1 \text{ kN} \quad N_{j,c,Rd} = 1020.3 \text{ kN} \quad V_{j,Rd} = 593.3 \text{ kN} \quad V_{wp,Rd}/\beta_j = 641.8 \text{ kN} \quad V_{ep,Rd} = 516.7 \text{ kN}$$

2.2.4. Nachweise

Zur Berechnung des inneren Hebelarms z_{eq} s. Rotationssteifigkeit

2.2.4.1. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

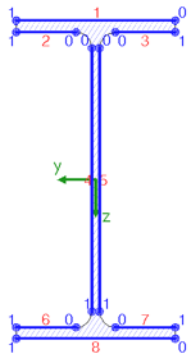
Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 150.0 \text{ mm}$
Naht 2:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 56.5 \text{ mm}$
Naht 3:	siehe Naht 2	
Naht 4:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 248.6 \text{ mm}$
Naht 5:	siehe Naht 4	
Naht 6:	$a_w = 7.0 \text{ mm}$	$l_w = 56.5 \text{ mm}$
Naht 7:	siehe Naht 6	
Naht 8:	$a_w = 7.0 \text{ mm}$	$l_w = 150.0 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$$\Sigma A_w = 56.41 \text{ cm}^2, \quad A_{w,z} = 24.86 \text{ cm}^2, \quad \Sigma l_w = 102.3 \text{ cm}$$

$$I_{w,y} = 7855.63 \text{ cm}^4, \quad I_{w,z} = 673.03 \text{ cm}^4, \quad W_{w,t} = 53.81 \text{ cm}^3, \quad \Delta z_w = 13.6 \text{ mm}$$

Spannungen in den Endpunkten der Nähte:

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

2.2.4.2. Nachweis der Stegsteifen

2.2.4.3. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.000 < 1$ **ok**

2.2.5. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 3 Zug-Schraubenreihen:

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 1:

$$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 22.69 \text{ mm}, \quad l_{eff} = 144.5 \text{ mm}, \quad m = 35.8 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}, \quad L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m)/2 = 63.8 \text{ mm}, \quad t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$$

$$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 3.26 \text{ mm}, \quad b_{eff,t,wc} = 168.4 \text{ mm}$$

$$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_c^3 / m^3 = 9.04 \text{ mm}, \quad l_{eff} = 127.8 \text{ mm}, \quad m = 26.9 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,1}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.624 \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 1.603 \text{ mm}$$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 2:

$$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 20.17 \text{ mm}, \quad l_{eff} = 128.5 \text{ mm}, \quad m = 35.8 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}, \quad L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m)/2 = 63.8 \text{ mm}, \quad t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$$

$$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 2.93 \text{ mm}, \quad b_{eff,t,wc} = 151.2 \text{ mm}$$

$$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_c^3 / m^3 = 7.82 \text{ mm}, \quad l_{eff} = 110.6 \text{ mm}, \quad m = 26.9 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,2}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.682 \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 1.467 \text{ mm}$$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 3:

$$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 31.87 \text{ mm}, \quad l_{eff} = 203.0 \text{ mm}, \quad m = 35.8 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}, \quad L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m)/2 = 63.8 \text{ mm}, \quad t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$$

$$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 3.27 \text{ mm}, \quad b_{eff,t,wc} = 168.7 \text{ mm}$$

$$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_c^3 / m^3 = 11.93 \text{ mm}, \quad l_{eff} = 168.7 \text{ mm}, \quad m = 26.9 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,3}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.584 \Rightarrow k_{eff,3} = 1 / \Sigma(1/k_{i,3}) = 1.713 \text{ mm}$$

$$\text{äquivalenter innerer Hebelarm: } z_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) = 198.8 \text{ mm}$$

$$k_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) / z_{eq} = 3.646 \text{ mm}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 1:

$$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 9.77 \text{ mm}, \quad A_{vc} = 51.13 \text{ cm}^2, \quad \beta = 1.0, \quad z = 198.8 \text{ mm}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 2:

$k_2 = \infty$ (ausgesteift)

Summe der Steifigkeitskoeffizienten $\Sigma(1/k_i) = 1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_{eq} = 0.377$

Rotationssteifigkeit

Anfangsrotationssteifigkeit: $S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 22037.8 \text{ kNm/rad}$, $z = z_{eq} = 198.8 \text{ mm}$

Biegemomente im Anschluss bzgl. des Druckpunkts: $M_{j,Ed} = 0.00 \text{ kNm}$, $M_{j,Rd} = 98.46 \text{ kNm}$

3. Lk 2

3.1. Anschluss rechts

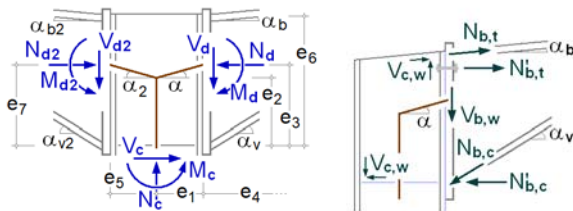
Hinweise

Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkräfte. Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

3.1.1. Bemessungsgrößen

⊥ zur Anschlussebene

Teilschnittgrößen



Vorzeichendefinition des EC3: eine positive Normalkraft bedeutet Druck, ein positives Moment erzeugt oben Zug

Neigungswinkel: $\alpha_b = \alpha = \alpha_v = 0^\circ$

Neigungswinkel: $\alpha_{b2} = \alpha_2 = \alpha_{v2} = 0^\circ$

Abstände: $e_1 = 165.0 \text{ mm}$, $e_3 = 144.6 \text{ mm}$, $e_2 = 144.6 \text{ mm}$, $e_5 = 165.0 \text{ mm}$, $e_7 = 144.6 \text{ mm}$, $e_6 = 286.1 \text{ mm}$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger (rechts)

$N_d = -140.00 \text{ kN}$, $M_d = 80.00 \text{ kNm}$, $V_d = 200.00 \text{ kN}$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_d \cdot t_{ep} = 76.00 \text{ kNm}$

$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b = 332.70 \text{ kN}$, $z_b = 289.3 \text{ mm}$, $z_{bu} = 144.6 \text{ mm}$

$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b = 192.70 \text{ kN}$, $z_b = 289.3 \text{ mm}$, $z_{bo} = 144.6 \text{ mm}$

3.1.2. Querschnittstragfähigkeit

plastischer Querschnittsnachweis für $N = 140.00 \text{ kN}$, $M_y = -76.00 \text{ kNm}$, $V_z = 200.00 \text{ kN}$

elastische Spannungen: $\max \sigma_x = 16.24 \text{ kN/cm}^2$, $\min \sigma_x = -11.03 \text{ kN/cm}^2$, $\max \tau = 10.59 \text{ kN/cm}^2$

zul. Normal-/Schubspannung: zul $\sigma_{Rd} = 23.50 \text{ kN/cm}^2$, zul $\tau_{Rd} = 13.57 \text{ kN/cm}^2$

Obergurt: Grenznormalkräfte $N_{max,o} = 377.18 \text{ kN}$, $N_{min,o} = -377.18 \text{ kN}$

Untergurt: Grenznormalkräfte $N_{max,u} = 377.18 \text{ kN}$, $N_{min,u} = -377.18 \text{ kN}$

Steg: Querkraft $V_s = 200.00 \text{ kN}$, Schubspannung $\tau_s = 9.74 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U_{\tau,s} = 0.718$

Grenznormalkräfte $N_{max,s} = 336.15 \text{ kN}$, $N_{min,s} = -336.15 \text{ kN}$

Hauptbieg.: Normalkraft $N = 140.00 \text{ kN}$, Grenznormalkräfte $N_{max} = 1090.50 \text{ kN}$, $N_{min} = -1090.50 \text{ kN} \Rightarrow U_N = 0.128$

Moment $M_y = -76.00 \text{ kNm}$, Grenzmomente $M_{y,max} = 129.21 \text{ kNm}$, $M_{y,min} = -129.21 \text{ kNm} \Rightarrow U_{M_y} = 0.588$

Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): $\max U = 0.749 < 1$ **ok**

Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_\sigma = 0.749 < 1$ **ok**, c/t-Verhältnis $U_{c/t} = 0.257 < 1$ **ok**

Stirnblechanschluss: Grundkomponenten: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12

3.1.3. Anschlussstragfähigkeit

Übertragungsparameter: $\beta_j = 1.000$

3.1.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 244.6 \text{ mm}$, $h_2 = 174.6 \text{ mm}$, $h_3 = 44.6 \text{ mm}$

Tragfähigkeiten nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stütze)

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

Gruppe 1

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 540.8 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$
Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 453.3 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$
Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)	
Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 301.5 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN}$
Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stirnblech)

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

Gruppe 1

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$	
Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 530.1 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$
Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 455.4 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$
Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)	
Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 290.8 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$
Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 216.1 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$
 Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$
 Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN}$
 $\Sigma F_{tr,Rd}^* = 694.1 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(7)

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$	
Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 641.8 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$
Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 581.1 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$
Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 499.0 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$
Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ (Reihe 1)	
Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 402.5 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$
Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 341.8 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$
Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 259.7 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$
Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 453.3 \text{ kN}$ (Reihen 1 bis 2)	
Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN}$
Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN}$
Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 45.7 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 45.7 \text{ kN}$

Kontrolle nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(9)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 239.3 \text{ kN}$, $h_x = 244.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 335.2 \text{ kN}$, keine Abminderung
 Reihe 2: $F_{tx,Rd} = 214.0 \text{ kN}$, $h_x = 174.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 335.2 \text{ kN}$, keine Abminderung

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$
 Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$
 Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 45.7 \text{ kN}$
 $\Sigma F_{tr,Rd} = 499.0 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 4, 7

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$\Sigma F_{c,Rd}^* = 997.9 \text{ kN}$

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_{tr}) = 98.0 \text{ kNm}$

Zugtragfähigkeit

$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 694.1 \text{ kN}$

Drucktragfähigkeit

$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 997.9 \text{ kN}$

3.1.3.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$
 Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 268.5 \text{ kN}$
 Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 155.5 \text{ kN}$	mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.516$
Reihe 2: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 268.5 \text{ kN} = 152.1 \text{ kN}$	mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.567$
Reihe 3: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 273.7 \text{ kN}$	mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.908$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 155.5 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 152.1 \text{ kN}$
 Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 273.7 \text{ kN}$
 $\Sigma F_{vr,Rd} = 581.3 \text{ kN}$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 581.3 \text{ kN}$

3.1.3.3. Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

Stirnblech: $V_{ep,Rd} = \tau_{Rd} \cdot t \cdot l_{eff} = 674.59 \text{ kN}$, $\tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2$, $t = 20.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$

Scherfestigkeit: $f_{vw,d} = (f_u/3^{1/2}) / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 207.8 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$

Schweißnähte: $F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot l_{eff} \cdot f_{vw,d} = 516.71 \text{ kN}$, $a = 5.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs: $V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 516.71 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

$V_{wp,Rd}/\beta_j = 641.8 \text{ kN}$

3.1.3.4. Gesamt

$M_{j,Rd} = 98.0 \text{ kNm}$ $N_{j,t,Rd} = 694.1 \text{ kN}$ $N_{j,c,Rd} = 997.9 \text{ kN}$ $V_{j,Rd} = 581.3 \text{ kN}$ $V_{wp,Rd}/\beta_j = 641.8 \text{ kN}$ $V_{ep,Rd} = 516.7 \text{ kN}$

3.1.4. Nachweise

Zur Berechnung des inneren Hebelarms z_{eq} s. Rotationssteifigkeit

3.1.4.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Normalkraft: $N_{b,Ed} = |N_d| = 140.00 \text{ kN} > 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 63.23 \text{ kN} \Rightarrow$ Biege-/Zugtragfähigkeit

bzgl. der Trägerachse mit $N_{pl,Rd} = A_b \cdot f_{yb} / \gamma_{M0} = 1264.58 \text{ kN}$

Normalkraft: $N_{Ed} = |N_d| = 140.00 \text{ kN}$

senkr. z. Anschlussebene

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d = 80.00 \text{ kNm}$

senkr. z. Anschlussebene

Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 200.00 \text{ kN}$

paral. z. Anschlussebene

Schubkraft: $V_{c,w,Ed} = (M_{d1,w} - M_{d2,w})/z - (V_{c1} - V_{c2})/2 = 413.99 \text{ kN}$, $M_{d1,w} = 82.3 \text{ kNm}$, $M_{d2,w} = 0.0 \text{ kNm}$, $z = 198.8 \text{ mm}$
 im Stützensteg

Biege-/Zugtragfähigkeit

$N_{Ed}/N_{j,t,Rd} + M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.202 + 0.817 = 1.018 > 1$ **Fehler !!**

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit bei 100%-iger Ausnutzung der Biegetragfähigkeit

$V_{Ed}/V_{j,Rd} = 0.344 < 1$ **ok**

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

$V_{c,w,Ed}/(V_{wp,Rd}/\beta_j) = 0.645 < 1$ **ok**

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

$V_{Ed}/V_{ep,Rd} = 0.387 < 1$ **ok**

3.1.4.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

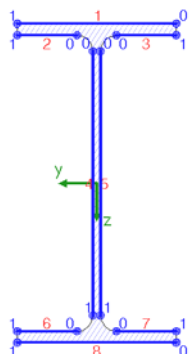
Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 150.0 \text{ mm}$
Naht 2:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 56.5 \text{ mm}$
Naht 3:	siehe Naht 2	
Naht 4:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 248.6 \text{ mm}$
Naht 5:	siehe Naht 4	
Naht 6:	$a_w = 7.0 \text{ mm}$	$l_w = 56.5 \text{ mm}$
Naht 7:	siehe Naht 6	
Naht 8:	$a_w = 7.0 \text{ mm}$	$l_w = 150.0 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$N_{Ed} = 140.00 \text{ kN}$, $M_{y,Ed} = -80.00 \text{ kNm}$, $V_{z,Ed} = 200.00 \text{ kN}$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$\Sigma A_w = 56.41 \text{ cm}^2$, $A_{w,z} = 24.86 \text{ cm}^2$, $\Sigma l_w = 102.3 \text{ cm}$

$I_{w,y} = 7855.63 \text{ cm}^4$, $I_{w,z} = 673.03 \text{ cm}^4$, $W_{w,t} = 53.81 \text{ cm}^3$, $\Delta z_w = 13.6 \text{ mm}$

Spannungen in den Endpunkten der Nähte:

Naht 1,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 191.38 \text{ N/mm}^2$	
Naht 2,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 180.48 \text{ N/mm}^2$	
Naht 3,	Pkt. 0:	siehe Naht 2	
	Pkt. 1:	siehe Naht 2	
Naht 4,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 165.21 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 80.45 \text{ N/mm}^2$
	Pkt. 1:	$\sigma_{w,x} = -87.96 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 80.45 \text{ N/mm}^2$
Naht 5,	Pkt. 0:	siehe Naht 4	
	Pkt. 1:	siehe Naht 4	
Naht 6,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -103.24 \text{ N/mm}^2$	
Naht 7,	Pkt. 0:	siehe Naht 6	
	Pkt. 1:	siehe Naht 6	
Naht 8,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -114.13 \text{ N/mm}^2$	

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

Nachweis für Naht 1, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 191.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 9.57 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 10.39 \text{ kN/cm, } f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2, a = 5.0 \text{ mm}$$

$$F_{w,Ed} = 9.57 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10.39 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.921 < 1 \quad \text{ok}$$

Nachweis für Naht 2, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 180.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 9.02 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 10.39 \text{ kN/cm, } f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2, a = 5.0 \text{ mm}$$

$$F_{w,Ed} = 9.02 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10.39 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.868 < 1 \quad \text{ok}$$

Nachweis für Naht 4, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_{w,x}^2 + \tau_{w,z}^2)^{1/2} = 183.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 9.19 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 10.39 \text{ kN/cm, } f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2, a = 5.0 \text{ mm}$$

$$F_{w,Ed} = 9.19 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10.39 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.884 < 1 \quad \text{ok}$$

Nachweis für Naht 4, Pkt. 1:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_{w,x}^2 + \tau_{w,z}^2)^{1/2} = 119.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 5.96 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 10.39 \text{ kN/cm, } f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2, a = 5.0 \text{ mm}$$

$$F_{w,Ed} = 5.96 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10.39 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.574 < 1 \quad \text{ok}$$

Nachweis für Naht 6, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 103.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 7.23 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 14.55 \text{ kN/cm, } f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2, a = 7.0 \text{ mm}$$

$$F_{w,Ed} = 7.23 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 14.55 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.497 < 1 \quad \text{ok}$$

Nachweis für Naht 8, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 114.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 7.99 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 14.55 \text{ kN/cm, } f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2, a = 7.0 \text{ mm}$$

$$F_{w,Ed} = 7.99 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 14.55 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.549 < 1 \quad \text{ok}$$

Ergebnis:

$$\text{Naht 1, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = 191.38 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Max: } F_{w,Ed} = 9.57 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10.39 \text{ kN/cm} \Rightarrow U_w = 0.921 < 1 \quad \text{ok}$$

3.1.4.3. Nachweis der Stegsteifen

$$N_{R,t} = (-N_d \cdot z_{bu} + M_d) / z = 504.28 \text{ kN, } z = z_{eq} = 198.8 \text{ mm, } z_{bu} = 144.6 \text{ mm}$$

$$N_{R,c} = (N_d \cdot z_{bo} + M_d) / z = 364.28 \text{ kN, } z = z_{eq} = 198.8 \text{ mm, } z_{bo} = 54.1 \text{ mm}$$

Drucksteife

$$F_{c,Ed} = N_{R,c} = 364.28 \text{ kN}$$

Die Schweißnähte werden mit dem vereinfachten Verfahren nachgewiesen.

Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

$$b_R = b_{st} = 76.3 \text{ mm, } b_1 = b_R - r_R = 49.3 \text{ mm, } e_F = b_R - 0.5 \cdot b_1 = 51.6 \text{ mm mit } r_R = 27.0 \text{ mm}$$

$$l_R = l_{st} = 307.0 \text{ mm, } l_1 = l_R - 2 \cdot r_R = 253.0 \text{ mm, } e_H = l_R = 307.0 \text{ mm, } t_R = 17.0 \text{ mm}$$

$$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 132.6 \text{ kN, } H = F \cdot e_F / e_H = 22.3 \text{ kN}$$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet (Nachweisverfahren 'Elastisch-Plastisch' $\Rightarrow$ max. Q-Klasse 2)

$$c/t\text{-Verhältnis } c/t = 4.49 \leq 33.00 = 33 \cdot \epsilon, \epsilon = (235/f_y)^{1/2} = 1.00 \Rightarrow \text{Q-Klasse } 1 \leq 2 \Rightarrow \text{Voraussetzung erfüllt !!}$$

Querschnitt am Flansch

$$\text{Drucktragfähigkeit } N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 196.75 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 138.1 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 138.1 \text{ kN} < F_{Rd} = 196.8 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.702 < 1 \text{ ok}$$

Querschnitt am Steg

$$\text{Schubtragfähigkeit } V_{Rd} = 708.10 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = F = 132.6 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 132.6 \text{ kN} < F_{Rd} = 708.1 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.187 < 1 \text{ ok}$$

Schweißnähte am Flansch

$$\text{Kehlnaht mit } a = 9.0 \text{ mm}$$

$$\text{Nahtdicke } a = 9.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 8.0 \text{ mm} !!$$

$$\text{Nahtdicke } a = 9.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 8.0 \text{ mm} !!$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{w,d} \cdot a = 18.71 \text{ kN/cm}, f_{w,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2, a = 9.0 \text{ mm}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + H^2)^{1/2} / (2 \cdot b_1) = 13.65 \text{ kN/cm}$$

$$0\% \text{ Spannungsabtrag über Druckkontakt}$$

$$F_{Ed} = 13.65 \text{ kN/cm} < F_{Rd} = 18.71 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.730 < 1 \text{ ok}$$

Schweißnähte am Steg

$$\text{Kehlnaht mit } a = 4.0 \text{ mm}$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{w,d} \cdot a = 8.31 \text{ kN/cm}, f_{w,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2, a = 4.0 \text{ mm}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = F / (2 \cdot l_1) = 2.62 \text{ kN/cm}$$

$$0\% \text{ Spannungsabtrag über Druckkontakt}$$

$$F_{Ed} = 2.62 \text{ kN/cm} < F_{Rd} = 8.31 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.315 < 1 \text{ ok}$$

Zugsteife

$$F_{t,Ed} = N_{R,t} = 504.28 \text{ kN}$$

Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

$$b_R = b_{st} = 76.3 \text{ mm}, b_1 = b_R - r_R = 49.3 \text{ mm}, e_F = b_R - 0.5 \cdot b_1 = 51.6 \text{ mm} \text{ mit } r_R = 27.0 \text{ mm}$$

$$l_R = l_{st} = 307.0 \text{ mm}, l_1 = l_R - 2 \cdot r_R = 253.0 \text{ mm}, e_H = l_R = 307.0 \text{ mm}, t_R = 17.0 \text{ mm}$$

$$F = 0.5 \cdot F_{t,Ed} \cdot (b_F - 2 \cdot r - t_w) / b_F = 183.6 \text{ kN}, H = F \cdot e_F / e_H = 30.9 \text{ kN}$$

Querschnitt am Flansch

$$\text{Zugtragfähigkeit } N_{t,Rd} = 196.75 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 191.2 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 191.2 \text{ kN} < F_{Rd} = 196.8 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.972 < 1 \text{ ok}$$

Querschnitt am Steg

$$\text{Schubtragfähigkeit } V_{Rd} = 708.10 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = F = 183.6 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 183.6 \text{ kN} < F_{Rd} = 708.1 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.259 < 1 \text{ ok}$$

3.1.4.4. Nachweisergebnis

$$\text{Maximale Ausnutzung: } \max U = 1.018 > 1 \text{ Fehler !!}$$

$$\text{Versagen beim Nachweis für Biegung: } U = 1.018$$

3.1.5. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 3 Zug-Schraubenreihen:

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 1:

$$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 22.69 \text{ mm}, l_{eff} = 144.5 \text{ mm}, m = 35.8 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}, L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m) / 2 = 63.8 \text{ mm}, t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$$

$$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 3.26 \text{ mm}, b_{eff,t,wc} = 168.4 \text{ mm}$$

$$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_{tc}^3 / m^3 = 9.04 \text{ mm}, l_{eff} = 127.8 \text{ mm}, m = 26.9 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,1}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.624 \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 1.603 \text{ mm}$$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 2:

$$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 20.17 \text{ mm}, l_{eff} = 128.5 \text{ mm}, m = 35.8 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}, L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m) / 2 = 63.8 \text{ mm}, t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$$

$$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 2.93 \text{ mm}, b_{eff,t,wc} = 151.2 \text{ mm}$$

$$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_{tc}^3 / m^3 = 7.82 \text{ mm}, l_{eff} = 110.6 \text{ mm}, m = 26.9 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,2}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.682 \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 1.467 \text{ mm}$$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 3:

$$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 31.87 \text{ mm}, l_{eff} = 203.0 \text{ mm}, m = 35.8 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}, L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m) / 2 = 63.8 \text{ mm}, t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$$

$$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 3.27 \text{ mm}, b_{eff,t,wc} = 168.7 \text{ mm}$$

$$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_{tc}^3 / m^3 = 11.93 \text{ mm}, l_{eff} = 168.7 \text{ mm}, m = 26.9 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,3}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.584 \Rightarrow k_{eff,3} = 1 / \Sigma(1/k_{i,3}) = 1.713 \text{ mm}$$

$$\text{äquivalenter innerer Hebelarm: } z_{eq} = \Sigma(k_{eff,i} \cdot r \cdot h r^2) / \Sigma(k_{eff,i} \cdot r \cdot h r) = 198.8 \text{ mm}$$

$$k_{eq} = \Sigma(k_{eff,i} \cdot r \cdot h r) / z_{eq} = 3.646 \text{ mm}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 1:

$$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 9.77 \text{ mm}, A_{vc} = 51.13 \text{ cm}^2, \beta = 1.0, z = 198.8 \text{ mm}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 2:

$$k_2 = \infty \text{ (ausgesteift)}$$

$$\text{Summe der Steifigkeitskoeffizienten } \Sigma(1/k_i) = 1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_{eq} = 0.377$$

Rotationssteifigkeit

$$\text{Anfangsrotationssteifigkeit: } S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 22037.8 \text{ kNm/rad}, z = z_{eq} = 198.8 \text{ mm}$$

$$\text{Biegemomente im Anschluss bzgl. des Druckpunkts: } M_{j,Ed} = 100.25 \text{ kNm}, M_{j,Rd} = 97.96 \text{ kNm}$$

$$\text{Normalkraft im Träger: } N_{b,Ed} = N_d = 140.00 \text{ kN}$$

$|N_{b,Ed}| = 140.00 \text{ kN} > 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 63.23 \text{ kN} \Rightarrow \text{Rotationssteifigkeit ggf. ungenau !!}$
 mit $N_{pl,Rd} = A_b \cdot f_{yb} / \gamma_{M0} = 1264.58 \text{ kN}$
 $|M_{j,Ed}| = 100.25 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,Rd} = 65.3 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^\Psi = 3.181, \Psi = 2.7$
 Rotationssteifigkeit: $S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 6928.1 \text{ kNm/rad}$
 Verdrehung: $\varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.829^\circ$

3.2. Anschluss links

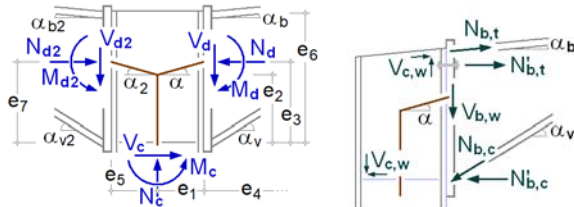
Hinweise

Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkräfte. Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

3.2.1. Bemessungsgrößen

⊥ zur Anschlussebene

Teilschnittgrößen



Vorzeichendefinition des EC3: eine positive Normalkraft bedeutet Druck, ein positives Moment erzeugt oben Zug

Neigungswinkel: $\alpha_b = \alpha = \alpha_v = 0^\circ$

Neigungswinkel: $\alpha_{b2} = \alpha_2 = \alpha_{v2} = 0^\circ$

Abstände: $e_1 = 165.0 \text{ mm}$, $e_3 = 144.6 \text{ mm}$, $e_2 = 144.6 \text{ mm}$, $e_5 = 165.0 \text{ mm}$, $e_7 = 144.6 \text{ mm}$, $e_6 = 286.1 \text{ mm}$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger (links)

$N_{d2} = -140.00 \text{ kN}$, $M_{d2} = 80.00 \text{ kNm}$, $V_{d2} = 200.00 \text{ kN}$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_{d2} \cdot e_{ep} = 0.00 \text{ kNm}$

3.2.2. Querschnittstragfähigkeit

Stirnblechanschluss: Grundkomponenten: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12

3.2.3. Anschlussstragfähigkeit

Übertragungsparameter: $\beta_j = 1.000$

3.2.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 244.6 \text{ mm}$, $h_2 = 174.6 \text{ mm}$, $h_3 = 44.6 \text{ mm}$

Tragfähigkeiten nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stütze)

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

Gruppe 1

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 540.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 453.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 301.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stirnblech)

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

Gruppe 1

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 530.1 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 455.4 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)

Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 290.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

$$\text{Gk 8: } \Delta F_{\text{tr,Rd}} = F_{\text{t,wb,Rd}} - \Sigma F_{\text{tr,Rd}} = 216.1 \text{ kN}$$

$$F_{\text{tr,Rd}} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{\text{tr,Rd}} \Rightarrow F_{\text{tr,Rd}} = 214.0 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

$$\text{Reihe 1: } F_{\text{tr,Rd}} = 239.3 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 2: } F_{\text{tr,Rd}} = 214.0 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 3: } F_{\text{tr,Rd}} = 240.8 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_{\text{tr,Rd}}^* = 694.1 \text{ kN}$$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(7)

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

$$\text{Reihe 1: } \Sigma F_{\text{tr,Rd}} = 0.0 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 1: } \Delta F_{\text{tr,Rd}} = V_{\text{wp,Rd}}/\beta_j - \Sigma F_{\text{tr,Rd}} = 641.8 \text{ kN}$$

$$F_{\text{tr,Rd}} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{\text{tr,Rd}} \Rightarrow F_{\text{tr,Rd}} = 239.3 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 2: } \Delta F_{\text{tr,Rd}} = F_{\text{c,w,Rd}} - \Sigma F_{\text{tr,Rd}} = 581.1 \text{ kN}$$

$$F_{\text{tr,Rd}} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{\text{tr,Rd}} \Rightarrow F_{\text{tr,Rd}} = 239.3 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 7: } \Delta F_{\text{tr,Rd}} = F_{\text{c,f,Rd}} - \Sigma F_{\text{tr,Rd}} = 510.1 \text{ kN}$$

$$F_{\text{tr,Rd}} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{\text{tr,Rd}} \Rightarrow F_{\text{tr,Rd}} = 239.3 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 2: } \Sigma F_{\text{tr,Rd}} = 239.3 \text{ kN (Reihe 1)}$$

$$\text{Gk 1: } \Delta F_{\text{tr,Rd}} = V_{\text{wp,Rd}}/\beta_j - \Sigma F_{\text{tr,Rd}} = 402.5 \text{ kN}$$

$$F_{\text{tr,Rd}} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{\text{tr,Rd}} \Rightarrow F_{\text{tr,Rd}} = 214.0 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 2: } \Delta F_{\text{tr,Rd}} = F_{\text{c,w,Rd}} - \Sigma F_{\text{tr,Rd}} = 341.8 \text{ kN}$$

$$F_{\text{tr,Rd}} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{\text{tr,Rd}} \Rightarrow F_{\text{tr,Rd}} = 214.0 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 7: } \Delta F_{\text{tr,Rd}} = F_{\text{c,f,Rd}} - \Sigma F_{\text{tr,Rd}} = 270.8 \text{ kN}$$

$$F_{\text{tr,Rd}} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{\text{tr,Rd}} \Rightarrow F_{\text{tr,Rd}} = 214.0 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 3: } \Sigma F_{\text{tr,Rd}} = 453.3 \text{ kN (Reihen 1 bis 2)}$$

$$\text{Gk 1: } \Delta F_{\text{tr,Rd}} = V_{\text{wp,Rd}}/\beta_j - \Sigma F_{\text{tr,Rd}} = 188.5 \text{ kN}$$

$$F_{\text{tr,Rd}} = 240.8 \text{ kN} > \Delta F_{\text{tr,Rd}} \Rightarrow F_{\text{tr,Rd}} = 188.5 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 2: } \Delta F_{\text{tr,Rd}} = F_{\text{c,w,Rd}} - \Sigma F_{\text{tr,Rd}} = 127.8 \text{ kN}$$

$$F_{\text{tr,Rd}} = 188.5 \text{ kN} > \Delta F_{\text{tr,Rd}} \Rightarrow F_{\text{tr,Rd}} = 127.8 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 7: } \Delta F_{\text{tr,Rd}} = F_{\text{c,f,Rd}} - \Sigma F_{\text{tr,Rd}} = 56.8 \text{ kN}$$

$$F_{\text{tr,Rd}} = 127.8 \text{ kN} > \Delta F_{\text{tr,Rd}} \Rightarrow F_{\text{tr,Rd}} = 56.8 \text{ kN}$$

Kontrolle nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(9)

maßgebende Grundkomponente: 10

$$\text{Reihe 1: } F_{\text{tx,Rd}} = 239.3 \text{ kN}, h_x = 244.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{\text{tx,Rd}} \leq \lim F_{\text{tx,Rd}} = 335.2 \text{ kN, keine Abminderung}$$

$$\text{Reihe 2: } F_{\text{tx,Rd}} = 214.0 \text{ kN}, h_x = 174.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{\text{tx,Rd}} \leq \lim F_{\text{tx,Rd}} = 335.2 \text{ kN, keine Abminderung}$$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

$$\text{Reihe 1: } F_{\text{tr,Rd}} = 239.3 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 2: } F_{\text{tr,Rd}} = 214.0 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 3: } F_{\text{tr,Rd}} = 56.8 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_{\text{tr,Rd}} = 510.1 \text{ kN}$$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 4, 7

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$$\Sigma F_{\text{c,Rd}}^* = 1020.3 \text{ kN}$$

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{\text{tr,Rd}} \cdot h_r) = 98.5 \text{ kNm}$$

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{\text{tr,Rd}}^* = 694.1 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{\text{c,Rd}}^* = 1020.3 \text{ kN}$$

3.2.3.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

$$\text{Reihe 1: } F_{\text{vr,Rd}} = 301.6 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 2: } F_{\text{vr,Rd}} = 301.6 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 3: } F_{\text{vr,Rd}} = 301.6 \text{ kN}$$

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

$$\text{Reihe 1: } F_{\text{vr,Rd}} = f_{\text{vt}} \cdot 301.6 \text{ kN} = 155.5 \text{ kN} \quad \text{mit } f_{\text{vt}} = 1 - F_{\text{tr,Rd}} / (1.4 \cdot \Sigma F_{\text{t,Rd}}) = 0.516$$

$$\text{Reihe 2: } F_{\text{vr,Rd}} = f_{\text{vt}} \cdot 301.6 \text{ kN} = 170.9 \text{ kN} \quad \text{mit } f_{\text{vt}} = 1 - F_{\text{tr,Rd}} / (1.4 \cdot \Sigma F_{\text{t,Rd}}) = 0.567$$

$$\text{Reihe 3: } F_{\text{vr,Rd}} = f_{\text{vt}} \cdot 301.6 \text{ kN} = 266.9 \text{ kN} \quad \text{mit } f_{\text{vt}} = 1 - F_{\text{tr,Rd}} / (1.4 \cdot \Sigma F_{\text{t,Rd}}) = 0.885$$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

$$\text{Reihe 1: } F_{\text{vr,Rd}} = 155.5 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 2: } F_{\text{vr,Rd}} = 170.9 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 3: } F_{\text{vr,Rd}} = 266.9 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_{\text{vr,Rd}} = 593.3 \text{ kN}$$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$$V_{j,Rd} = \Sigma F_{\text{vr,Rd}} = 593.3 \text{ kN}$$

3.2.3.3. Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

Stirnblech: $V_{ep,Rd} = \tau_{Rd} \cdot t \cdot l_{eff} = 674.59 \text{ kN}$, $\tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2$, $t = 20.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$

Scherfestigkeit: $f_{vw,d} = (f_u/3^{1/2}) / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 207.8 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$

Schweißnähte: $F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot l_{eff} \cdot f_{vw,d} = 516.71 \text{ kN}$, $a = 5.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs: $V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 516.71 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

$V_{wp,Rd}/\beta_j = 641.8 \text{ kN}$

3.2.3.4. Gesamt

$M_{j,Rd} = 98.5 \text{ kNm}$ $N_{j,t,Rd} = 694.1 \text{ kN}$ $N_{j,c,Rd} = 1020.3 \text{ kN}$ $V_{j,Rd} = 593.3 \text{ kN}$ $V_{wp,Rd}/\beta_j = 641.8 \text{ kN}$ $V_{ep,Rd} = 516.7 \text{ kN}$

3.2.4. Nachweise

Zur Berechnung des inneren Hebelarms z_{eq} s. Rotationssteifigkeit

3.2.4.1. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

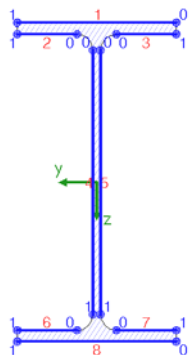
Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig

Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 150.0 \text{ mm}$
Naht 2:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 56.5 \text{ mm}$
Naht 3:	siehe Naht 2	
Naht 4:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 248.6 \text{ mm}$
Naht 5:	siehe Naht 4	
Naht 6:	$a_w = 7.0 \text{ mm}$	$l_w = 56.5 \text{ mm}$
Naht 7:	siehe Naht 6	
Naht 8:	$a_w = 7.0 \text{ mm}$	$l_w = 150.0 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$\Sigma A_w = 56.41 \text{ cm}^2$, $A_{w,z} = 24.86 \text{ cm}^2$, $\Sigma l_w = 102.3 \text{ cm}$

$I_{w,y} = 7855.63 \text{ cm}^4$, $I_{w,z} = 673.03 \text{ cm}^4$, $W_{w,t} = 53.81 \text{ cm}^3$, $\Delta z_w = 13.6 \text{ mm}$

Spannungen in den Endpunkten der Nähte:

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

3.2.4.2. Nachweis der Stegsteifen

3.2.4.3. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.000 < 1$ **ok**

3.2.5. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 3 Zug-Schraubenreihen:

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 1:

$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 22.69 \text{ mm}$, $l_{eff} = 144.5 \text{ mm}$, $m = 35.8 \text{ mm}$

$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}$, $L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m)/2 = 63.8 \text{ mm}$, $t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$

$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 3.26 \text{ mm}$, $b_{eff,t,wc} = 168.4 \text{ mm}$

$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_c^3 / m^3 = 9.04 \text{ mm}$, $l_{eff} = 127.8 \text{ mm}$, $m = 26.9 \text{ mm}$

$\Sigma(1/k_{i,1}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.624 \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 1.603 \text{ mm}$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 2:

$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 20.17 \text{ mm}$, $l_{eff} = 128.5 \text{ mm}$, $m = 35.8 \text{ mm}$

$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}$, $L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m)/2 = 63.8 \text{ mm}$, $t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$

$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 2.93 \text{ mm}$, $b_{eff,t,wc} = 151.2 \text{ mm}$

$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_c^3 / m^3 = 7.82 \text{ mm}$, $l_{eff} = 110.6 \text{ mm}$, $m = 26.9 \text{ mm}$

$\Sigma(1/k_{i,2}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.682 \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 1.467 \text{ mm}$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 3:

$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 31.87 \text{ mm}$, $l_{eff} = 203.0 \text{ mm}$, $m = 35.8 \text{ mm}$

$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}$, $L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m)/2 = 63.8 \text{ mm}$, $t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$

$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 3.27 \text{ mm}$, $b_{eff,t,wc} = 168.7 \text{ mm}$

$$k_4 = 0.9 \cdot I_{eff} \cdot t_c^3 / m^3 = 11.93 \text{ mm}, \quad I_{eff} = 168.7 \text{ mm}, \quad m = 26.9 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,3}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.584 \Rightarrow k_{eff,3} = 1 / \Sigma(1/k_{i,3}) = 1.713 \text{ mm}$$

äquivalenter innerer Hebelarm: $z_{eq} = \Sigma(k_{eff,i} \cdot r_i \cdot h_i^2) / \Sigma(k_{eff,i} \cdot r_i \cdot h_i) = 198.8 \text{ mm}$

$$k_{eq} = \Sigma(k_{eff,i} \cdot r_i \cdot h_i) / z_{eq} = 3.646 \text{ mm}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 1:

$$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 9.77 \text{ mm}, \quad A_{vc} = 51.13 \text{ cm}^2, \quad \beta = 1.0, \quad z = 198.8 \text{ mm}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 2:

$$k_2 = \infty \text{ (ausgesteift)}$$

$$\text{Summe der Steifigkeitskoeffizienten } \Sigma(1/k_i) = 1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_{eq} = 0.377$$

Rotationssteifigkeit

$$\text{Anfangsrotationssteifigkeit: } S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 22037.8 \text{ kNm/rad}, \quad z = z_{eq} = 198.8 \text{ mm}$$

$$\text{Biegemomente im Anschluss bzgl. des Druckpunkts: } M_{j,Ed} = 0.00 \text{ kNm}, \quad M_{j,Rd} = 98.46 \text{ kNm}$$

4. Lk 3

4.1. Anschluss rechts

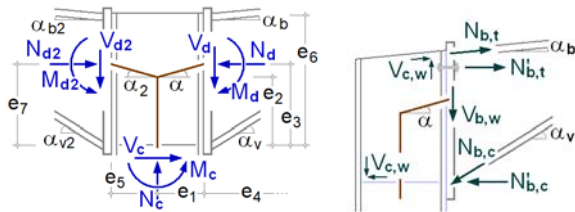
Hinweise

Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkräfte. Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

4.1.1. Bemessungsgrößen

⊥ zur Anschlussebene

Teilschnittgrößen



Vorzeichendefinition des EC3: eine positive Normalkraft bedeutet Druck, ein positives Moment erzeugt oben Zug

Neigungswinkel: $\alpha_b = \alpha = \alpha_v = 0^\circ$

Neigungswinkel: $\alpha_{b2} = \alpha_2 = \alpha_{v2} = 0^\circ$

Abstände: $e_1 = 165.0 \text{ mm}$, $e_3 = 144.6 \text{ mm}$, $e_2 = 144.6 \text{ mm}$, $e_5 = 165.0 \text{ mm}$, $e_7 = 144.6 \text{ mm}$, $e_6 = 286.1 \text{ mm}$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger (rechts)

$$M_d = 80.00 \text{ kNm}, \quad V_d = 200.00 \text{ kN}$$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_d \cdot t_{ep} = 76.00 \text{ kNm}$

$$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu} / z_b + M'_d / z_b = 262.70 \text{ kN}, \quad z_b = 289.3 \text{ mm}, \quad z_{bu} = 144.6 \text{ mm}$$

$$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo} / z_b + M'_d / z_b = 262.70 \text{ kN}, \quad z_b = 289.3 \text{ mm}, \quad z_{bo} = 144.6 \text{ mm}$$

4.1.2. Querschnittstragfähigkeit

plastischer Querschnittsnachweis für $M_y = -76.00 \text{ kNm}$, $V_z = 200.00 \text{ kN}$

elastische Spannungen: $\max \sigma_x = 13.64 \text{ kN/cm}^2$, $\min \sigma_x = -13.64 \text{ kN/cm}^2$, $\max \tau = 10.59 \text{ kN/cm}^2$

zul. Normal-/Schubspannung: $\text{zul } \sigma_{Rd} = 23.50 \text{ kN/cm}^2$, $\text{zul } \tau_{Rd} = 13.57 \text{ kN/cm}^2$

Obergurt: Grenznormalkräfte $N_{\max,O} = 377.18 \text{ kN}$, $N_{\min,O} = -377.18 \text{ kN}$

Untergurt: Grenznormalkräfte $N_{\max,U} = 377.18 \text{ kN}$, $N_{\min,U} = -377.18 \text{ kN}$

Steg: Querkraft $V_s = 200.00 \text{ kN}$, Schubspannung $\tau_s = 9.74 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U_{\tau,s} = 0.718$

Grenznormalkräfte $N_{\max,s} = 336.15 \text{ kN}$, $N_{\min,s} = -336.15 \text{ kN}$

Hauptbieg.: Moment $M_y = -76.00 \text{ kNm}$, Grenzmomente $M_{y,\max} = 133.43 \text{ kNm}$, $M_{y,\min} = -133.43 \text{ kNm} \Rightarrow U_{M_y} = 0.570$

Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): $\max U = 0.719 < 1$ **ok**

Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_\sigma = 0.719 < 1$ **ok**, c/t-Verhältnis $U_{c/t} = 0.287 < 1$ **ok**

Stirnblechanschluss: Grundkomponenten: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12

4.1.3. Anschlussstragfähigkeit

Übertragungsparameter: $\beta_j = 1.000$

4.1.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 244.6 \text{ mm}$, $h_2 = 174.6 \text{ mm}$, $h_3 = 44.6 \text{ mm}$

Tragfähigkeiten nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stütze)

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

Gruppe 1

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 540.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 453.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 301.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stirnblech)

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

Gruppe 1

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 530.1 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 455.4 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)

Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 290.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 216.1 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 694.1 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(7)

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 641.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 581.1 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 499.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ (Reihe 1)

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 402.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 341.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 259.7 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 453.3 \text{ kN}$ (Reihen 1 bis 2)

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 45.7 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 45.7 \text{ kN}$

Kontrolle nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(9)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 239.3 \text{ kN}$, $h_x = 244.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 335.2 \text{ kN}$, keine Abminderung

Reihe 2: $F_{tx,Rd} = 214.0 \text{ kN}$, $h_x = 174.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 335.2 \text{ kN}$, keine Abminderung

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 45.7 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd} = 499.0 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 4, 7

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$\Sigma F_{c,Rd}^* = 997.9 \text{ kN}$

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 98.0 \text{ kNm}$

Zugtragfähigkeit

$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 694.1 \text{ kN}$

Drucktragfähigkeit

$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 997.9 \text{ kN}$

4.1.3.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

Reihe 1: $F_{vR,Rd} = 301.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{vR,Rd} = 268.5 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{vR,Rd} = 301.6 \text{ kN}$

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{vR,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 155.5 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tR,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.516$

Reihe 2: $F_{vR,Rd} = f_{vt} \cdot 268.5 \text{ kN} = 152.1 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tR,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.567$

Reihe 3: $F_{vR,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 273.7 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tR,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.908$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

Reihe 1: $F_{vR,Rd} = 155.5 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{vR,Rd} = 152.1 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{vR,Rd} = 273.7 \text{ kN}$

$\Sigma F_{vR,Rd} = 581.3 \text{ kN}$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vR,Rd} = 581.3 \text{ kN}$

4.1.3.3. Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

Stirnblech: $V_{ep,Rd} = \tau_{Rd} \cdot t \cdot l_{eff} = 674.59 \text{ kN}$, $\tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2$, $t = 20.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$

Scherfestigkeit: $f_{vw,d} = (f_u/3^{1/2}) / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 207.8 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$

Schweißnähte: $F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot l_{eff} \cdot f_{vw,d} = 516.71 \text{ kN}$, $a = 5.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs: $V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 516.71 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

$V_{wp,Rd}/\beta_j = 641.8 \text{ kN}$

4.1.3.4. Gesamt

$M_{j,Rd} = 98.0 \text{ kNm}$ $N_{j,t,Rd} = 694.1 \text{ kN}$ $N_{j,c,Rd} = 997.9 \text{ kN}$ $V_{j,Rd} = 581.3 \text{ kN}$ $V_{wp,Rd}/\beta_j = 641.8 \text{ kN}$ $V_{ep,Rd} = 516.7 \text{ kN}$

4.1.4. Nachweise

Zur Berechnung des inneren Hebelarms z_{eq} s. Rotationssteifigkeit

4.1.4.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d = 80.00 \text{ kNm}$

senkr. z. Anschlussebene

Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 200.00 \text{ kN}$

paral. z. Anschlussebene

Schubkraft: $V_{c,w,Ed} = (M_{d1,w} - M_{d2,w})/z - (V_{c1} - V_{c2})/2 = 413.99 \text{ kN}$, $M_{d1,w} = 82.3 \text{ kNm}$, $M_{d2,w} = 0.0 \text{ kNm}$, $z = 198.8 \text{ mm}$
im Stützensteg

Biegetragfähigkeit

$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.817 < 1$ **ok**

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit bei 100%-iger Ausnutzung der Biegetragfähigkeit

$V_{Ed}/V_{j,Rd} = 0.344 < 1$ **ok**

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit bei nur 81.7%-iger Ausnutzung der Biegetragfähigkeit

Reihe 1: $F_{vR,Rd} = f_v \cdot 301.6 \text{ kN} = 182.3 \text{ kN}$ mit $f_v = 1 - 0.817 \cdot F_{tR,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.604$

Reihe 2: $F_{vR,Rd} = f_v \cdot 268.5 \text{ kN} = 173.5 \text{ kN}$ mit $f_v = 1 - 0.817 \cdot F_{tR,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.646$

Reihe 3: $F_{vR,Rd} = f_v \cdot 301.6 \text{ kN} = 278.8 \text{ kN}$ mit $f_v = 1 - 0.817 \cdot F_{tR,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.925$

$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vR,Rd} = 634.6 \text{ kN}$

$V_{Ed}/V_{j,Rd} = 0.315 < 1$ **ok**

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

$V_{c,w,Ed}/(V_{wp,Rd}/\beta_j) = 0.645 < 1$ **ok**

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

$V_{Ed}/V_{ep,Rd} = 0.387 < 1$ **ok**

4.1.4.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

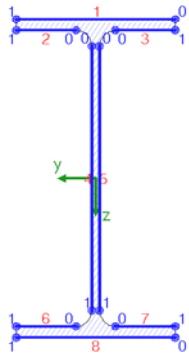
Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig

Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 150.0 \text{ mm}$
Naht 2:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 56.5 \text{ mm}$
Naht 3:	siehe Naht 2	
Naht 4:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 248.6 \text{ mm}$
Naht 5:	siehe Naht 4	
Naht 6:	$a_w = 7.0 \text{ mm}$	$l_w = 56.5 \text{ mm}$
Naht 7:	siehe Naht 6	
Naht 8:	$a_w = 7.0 \text{ mm}$	$l_w = 150.0 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$M_{y,Ed} = -80.00 \text{ kNm}$, $V_{z,Ed} = 200.00 \text{ kN}$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$\Sigma A_w = 56.41 \text{ cm}^2$, $A_{w,z} = 24.86 \text{ cm}^2$, $\Sigma l_w = 102.3 \text{ cm}$
 $I_{w,y} = 7855.63 \text{ cm}^4$, $I_{w,z} = 673.03 \text{ cm}^4$, $W_{w,t} = 53.81 \text{ cm}^3$, $\Delta z_w = 13.6 \text{ mm}$

Spannungen in den Endpunkten der Nähte:

Naht 1, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 166.56 \text{ N/mm}^2$	
Naht 2, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 155.66 \text{ N/mm}^2$	
Naht 3, Pkt. 0:	siehe Naht 2	
	Pkt. 1: siehe Naht 2	
Naht 4, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 140.39 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 80.45 \text{ N/mm}^2$
	Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -112.78 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 80.45 \text{ N/mm}^2$
Naht 5, Pkt. 0:	siehe Naht 4	
	Pkt. 1: siehe Naht 4	
Naht 6, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -128.06 \text{ N/mm}^2$	
Naht 7, Pkt. 0:	siehe Naht 6	
	Pkt. 1: siehe Naht 6	
Naht 8, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -138.95 \text{ N/mm}^2$	

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

Nachweis für Naht 1, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 166.6 \text{ N/mm}^2$

resultierende Nahtkraft $F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 8.33 \text{ kN/cm}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 10.39 \text{ kN/cm}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 5.0 \text{ mm}$

$F_{w,Ed} = 8.33 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10.39 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.801 < 1$ **ok**

Nachweis für Naht 2, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 155.7 \text{ N/mm}^2$

resultierende Nahtkraft $F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 7.78 \text{ kN/cm}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 10.39 \text{ kN/cm}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 5.0 \text{ mm}$

$F_{w,Ed} = 7.78 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10.39 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.749 < 1$ **ok**

Nachweis für Naht 4, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_{w,x}^2 + \tau_{w,z}^2)^{1/2} = 161.8 \text{ N/mm}^2$

resultierende Nahtkraft $F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 8.09 \text{ kN/cm}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 10.39 \text{ kN/cm}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 5.0 \text{ mm}$

$F_{w,Ed} = 8.09 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10.39 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.778 < 1$ **ok**

Nachweis für Naht 4, Pkt. 1:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_{w,x}^2 + \tau_{w,z}^2)^{1/2} = 138.5 \text{ N/mm}^2$

resultierende Nahtkraft $F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 6.93 \text{ kN/cm}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 10.39 \text{ kN/cm}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 5.0 \text{ mm}$

$F_{w,Ed} = 6.93 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10.39 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.667 < 1$ **ok**

Nachweis für Naht 6, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 128.1 \text{ N/mm}^2$

resultierende Nahtkraft $F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 8.96 \text{ kN/cm}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 14.55 \text{ kN/cm}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 7.0 \text{ mm}$

$F_{w,Ed} = 8.96 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 14.55 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.616 < 1$ **ok**

Nachweis für Naht 8, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 139.0 \text{ N/mm}^2$

resultierende Nahtkraft $F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 9.73 \text{ kN/cm}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 14.55 \text{ kN/cm}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 7.0 \text{ mm}$

$F_{w,Ed} = 9.73 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 14.55 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.669 < 1$ **ok**

Ergebnis:

Naht 1, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 166.56 \text{ N/mm}^2$

Max: $F_{w,Ed} = 8.33 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10.39 \text{ kN/cm} \Rightarrow U_w = 0.801 < 1$ **ok**

4.1.4.3. Nachweis der Stegsteifen

$N_{R,t} = (-N_d \cdot z_{bu} + M_d) / z = 402.42 \text{ kN}$, $z = z_{eq} = 198.8 \text{ mm}$, $z_{bu} = 144.6 \text{ mm}$

$N_{R,c} = (N_d \cdot z_{bo} + M_d) / z = 402.42 \text{ kN}$, $z = z_{eq} = 198.8 \text{ mm}$, $z_{bo} = 54.1 \text{ mm}$

Drucksteife

$F_{c,Ed} = N_{R,c} = 402.42 \text{ kN}$

Die Schweißnähte werden mit dem vereinfachten Verfahren nachgewiesen.

Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

$b_R = b_{st} = 76.3 \text{ mm}$, $b_1 = b_R - r_R = 49.3 \text{ mm}$, $e_F = b_R - 0.5 \cdot b_1 = 51.6 \text{ mm}$ mit $r_R = 27.0 \text{ mm}$

$l_R = l_{st} = 307.0 \text{ mm}$, $l_1 = l_R - 2 \cdot r_R = 253.0 \text{ mm}$, $e_H = l_R = 307.0 \text{ mm}$, $t_R = 17.0 \text{ mm}$

$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 146.5 \text{ kN}$, $H = F \cdot e_F / e_H = 24.6 \text{ kN}$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet (Nachweisverfahren 'Elastisch-Plastisch' $\Rightarrow$ max. Q-Klasse 2)

c/t-Verhältnis $c/t = 4.49 \leq 33.00 = 33 \cdot \epsilon$, $\epsilon = (235/f_y)^{1/2} = 1.00 \Rightarrow$ Q-Klasse $1 \leq 2 \Rightarrow$ Voraussetzung erfüllt !!

Querschnitt am Flansch

Drucktragfähigkeit $N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 196.75 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 152.6 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 152.6 \text{ kN} < F_{Rd} = 196.8 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.776 < 1$ **ok**

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = 708.10 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 146.5 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 146.5 \text{ kN} < F_{Rd} = 708.1 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.207 < 1$ **ok**

Schweißnähte am Flansch

Kehlnaht mit $a = 9.0 \text{ mm}$

Nahtdicke $a = 9.0 \text{ mm} > a_{max} = 0.7 \cdot t_{min} = 8.0 \text{ mm}$!!

Nahtdicke $a = 9.0 \text{ mm} > a_{max} = 0.7 \cdot t_{min} = 8.0 \text{ mm}$!!

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{w,d} \cdot a = 18.71 \text{ kN/cm}$, $f_{w,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 9.0 \text{ mm}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + H^2)^{1/2} / (2 \cdot b_1) = 15.08 \text{ kN/cm}$

0% Spannungsabtrag über Druckkontakt

$F_{Ed} = 15.08 \text{ kN/cm} < F_{Rd} = 18.71 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.806 < 1$ **ok**

Schweißnähte am Steg

Kehlnaht mit $a = 4.0 \text{ mm}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{w,d} \cdot a = 8.31 \text{ kN/cm}$, $f_{w,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 4.0 \text{ mm}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F / (2 \cdot l_1) = 2.90 \text{ kN/cm}$

0% Spannungsabtrag über Druckkontakt

$F_{Ed} = 2.90 \text{ kN/cm} < F_{Rd} = 8.31 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.348 < 1$ **ok**

Zugsteife

$F_{t,Ed} = N_{R,t} = 402.42 \text{ kN}$

Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

$b_R = b_{st} = 76.3 \text{ mm}$, $b_1 = b_R - r_R = 49.3 \text{ mm}$, $e_F = b_R - 0.5 \cdot b_1 = 51.6 \text{ mm}$ mit $r_R = 27.0 \text{ mm}$

$l_R = l_{st} = 307.0 \text{ mm}$, $l_1 = l_R - 2 \cdot r_R = 253.0 \text{ mm}$, $e_H = l_R = 307.0 \text{ mm}$, $t_R = 17.0 \text{ mm}$

$F = 0.5 \cdot F_{t,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 146.5 \text{ kN}$, $H = F \cdot e_F / e_H = 24.6 \text{ kN}$

Querschnitt am Flansch

Zugtragfähigkeit $N_{t,Rd} = 196.75 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 152.6 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 152.6 \text{ kN} < F_{Rd} = 196.8 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.776 < 1$ **ok**

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = 708.10 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 146.5 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 146.5 \text{ kN} < F_{Rd} = 708.1 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.207 < 1$ **ok**

4.1.4.4. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.817 < 1$ **ok**

4.1.5. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 3 Zug-Schraubenreihen:

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 1:

$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 22.69 \text{ mm}$, $l_{eff} = 144.5 \text{ mm}$, $m = 35.8 \text{ mm}$

$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}$, $L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m) / 2 = 63.8 \text{ mm}$, $t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$

$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 3.26 \text{ mm}$, $b_{eff,t,wc} = 168.4 \text{ mm}$

$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_c^3 / m^3 = 9.04 \text{ mm}$, $l_{eff} = 127.8 \text{ mm}$, $m = 26.9 \text{ mm}$

$\Sigma(1/k_{i,1}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.624 \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 1.603 \text{ mm}$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 2:

$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 20.17 \text{ mm}$, $l_{eff} = 128.5 \text{ mm}$, $m = 35.8 \text{ mm}$

$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}$, $L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m) / 2 = 63.8 \text{ mm}$, $t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$

$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 2.93 \text{ mm}$, $b_{eff,t,wc} = 151.2 \text{ mm}$

$k_4 = 0.9 \cdot I_{eff} \cdot t_{tc}^3 / m^3 = 7.82 \text{ mm}$, $I_{eff} = 110.6 \text{ mm}$, $m = 26.9 \text{ mm}$
 $\Sigma(1/k_{i,2}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.682 \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 1.467 \text{ mm}$
 wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 3:
 $k_5 = 0.9 \cdot I_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 31.87 \text{ mm}$, $I_{eff} = 203.0 \text{ mm}$, $m = 35.8 \text{ mm}$
 $k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}$, $L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m)/2 = 63.8 \text{ mm}$, $t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$
 $k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 3.27 \text{ mm}$, $b_{eff,t,wc} = 168.7 \text{ mm}$
 $k_4 = 0.9 \cdot I_{eff} \cdot t_{tc}^3 / m^3 = 11.93 \text{ mm}$, $I_{eff} = 168.7 \text{ mm}$, $m = 26.9 \text{ mm}$
 $\Sigma(1/k_{i,3}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.584 \Rightarrow k_{eff,3} = 1 / \Sigma(1/k_{i,3}) = 1.713 \text{ mm}$
 äquivalenter innerer Hebelarm: $z_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) = 198.8 \text{ mm}$
 $k_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) / z_{eq} = 3.646 \text{ mm}$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 1:

$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 9.77 \text{ mm}$, $A_{vc} = 51.13 \text{ cm}^2$, $\beta = 1.0$, $z = 198.8 \text{ mm}$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 2:

$k_2 = \infty$ (ausgesteift)

Summe der Steifigkeitskoeffizienten $\Sigma(1/k_i) = 1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_{eq} = 0.377$

Rotationssteifigkeit

Anfangsrotationssteifigkeit: $S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 22037.8 \text{ kNm/rad}$, $z = z_{eq} = 198.8 \text{ mm}$

Biegemomente im Anschluss bzgl. des Druckpunkts: $M_{j,Ed} = 80.00 \text{ kNm}$, $M_{j,Rd} = 97.96 \text{ kNm}$

$|M_{j,Ed}| = 80.00 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,Rd} = 65.3 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^\Psi = 1.730$, $\Psi = 2.7$

Rotationssteifigkeit: $S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 12741.2 \text{ kNm/rad}$

Verdrehung: $\varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.360^\circ$

4.2. Anschluss links

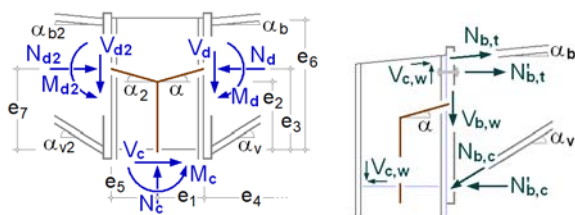
Hinweise

Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkraft. Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

4.2.1. Bemessungsgrößen

⊥ zur Anschlussebene

Teilschnittgrößen



Vorzeichendefinition des EC3: eine positive Normalkraft bedeutet Druck, ein positives Moment erzeugt oben Zug

Neigungswinkel: $\alpha_b = \alpha = \alpha_v = 0^\circ$

Neigungswinkel: $\alpha_{b2} = \alpha_2 = \alpha_{v2} = 0^\circ$

Abstände: $e_1 = 165.0 \text{ mm}$, $e_3 = 144.6 \text{ mm}$, $e_2 = 144.6 \text{ mm}$, $e_5 = 165.0 \text{ mm}$, $e_7 = 144.6 \text{ mm}$, $e_6 = 286.1 \text{ mm}$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger (links)

$M_{d2} = 80.00 \text{ kNm}$, $V_{d2} = 200.00 \text{ kN}$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_d \cdot t_{ep} = 0.00 \text{ kNm}$

4.2.2. Querschnittstragfähigkeit

Stirnblechanschluss: Grundkomponenten: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12

4.2.3. Anschlussstragfähigkeit

Übertragungsparameter: $\beta_j = 1.000$

4.2.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 244.6 \text{ mm}$, $h_2 = 174.6 \text{ mm}$, $h_3 = 44.6 \text{ mm}$

Tragfähigkeiten nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stütze)

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

Gruppe 1

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

$$\text{Gk 3: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 540.8 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 4: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 453.3 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)

$$\text{Gk 3: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 301.5 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 4: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stirnblech)

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

Gruppe 1

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

$$\text{Gk 5: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 530.1 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 8: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 455.4 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)

$$\text{Gk 5: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 290.8 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 8: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 216.1 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 694.1 \text{ kN}$$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(7)

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

$$\text{Gk 1: } \Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 641.8 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 2: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 581.1 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 7: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 510.1 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ (Reihe 1)

$$\text{Gk 1: } \Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 402.5 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 2: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 341.8 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 7: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 270.8 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$$

Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 453.3 \text{ kN}$ (Reihen 1 bis 2)

$$\text{Gk 1: } \Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 2: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 7: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 56.8 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 56.8 \text{ kN}$$

Kontrolle nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(9)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 239.3 \text{ kN}$, $h_x = 244.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 335.2 \text{ kN}$, keine Abminderung

Reihe 2: $F_{tx,Rd} = 214.0 \text{ kN}$, $h_x = 174.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 335.2 \text{ kN}$, keine Abminderung

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 56.8 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{tr,Rd} = 510.1 \text{ kN}$$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 4, 7

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$$\Sigma F_{c,Rd}^* = 1020.3 \text{ kN}$$

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$$M_{j,Rd} = \Sigma (F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 98.5 \text{ kNm}$$

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 694.1 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 1020.3 \text{ kN}$$

4.2.3.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

$$\text{Reihe 1: } F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 155.5 \text{ kN} \quad \text{mit } f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.516$$

$$\text{Reihe 2: } F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 170.9 \text{ kN} \quad \text{mit } f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.567$$

$$\text{Reihe 3: } F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 266.9 \text{ kN} \quad \text{mit } f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.885$$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 155.5 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 170.9 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 266.9 \text{ kN}$

$\Sigma F_{vr,Rd} = 593.3 \text{ kN}$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 593.3 \text{ kN}$

4.2.3.3. Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

Stirnblech: $V_{ep,Rd} = \tau_{Rd} \cdot t \cdot l_{eff} = 674.59 \text{ kN}$, $\tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2$, $t = 20.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$

Scherfestigkeit: $f_{vw,d} = (f_u/3^{1/2}) / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 207.8 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$

Schweißnähte: $F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot l_{eff} \cdot f_{vw,d} = 516.71 \text{ kN}$, $a = 5.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs: $V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 516.71 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

$V_{wp,Rd}/\beta_j = 641.8 \text{ kN}$

4.2.3.4. Gesamt

$M_{j,Rd} = 98.5 \text{ kNm}$ $N_{j,t,Rd} = 694.1 \text{ kN}$ $N_{j,c,Rd} = 1020.3 \text{ kN}$ $V_{j,Rd} = 593.3 \text{ kN}$ $V_{wp,Rd}/\beta_j = 641.8 \text{ kN}$ $V_{ep,Rd} = 516.7 \text{ kN}$

4.2.4. Nachweise

Zur Berechnung des inneren Hebelarms z_{eq} s. Rotationssteifigkeit

4.2.4.1. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

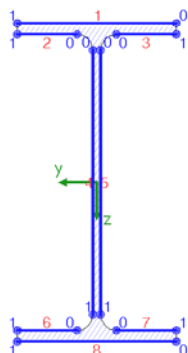
Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig

Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 150.0 \text{ mm}$
Naht 2:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 56.5 \text{ mm}$
Naht 3:	siehe Naht 2	
Naht 4:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 248.6 \text{ mm}$
Naht 5:	siehe Naht 4	
Naht 6:	$a_w = 7.0 \text{ mm}$	$l_w = 56.5 \text{ mm}$
Naht 7:	siehe Naht 6	
Naht 8:	$a_w = 7.0 \text{ mm}$	$l_w = 150.0 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$\Sigma A_w = 56.41 \text{ cm}^2$, $A_{w,z} = 24.86 \text{ cm}^2$, $\Sigma l_w = 102.3 \text{ cm}$

$I_{w,y} = 7855.63 \text{ cm}^4$, $I_{w,z} = 673.03 \text{ cm}^4$, $W_{w,t} = 53.81 \text{ cm}^3$, $\Delta z_w = 13.6 \text{ mm}$

Spannungen in den Endpunkten der Nähte:

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

4.2.4.2. Nachweis der Stegsteifen

4.2.4.3. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.000 < 1$ **ok**

4.2.5. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 3 Zug-Schraubenreihen:

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 1:

$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 22.69 \text{ mm}$, $l_{eff} = 144.5 \text{ mm}$, $m = 35.8 \text{ mm}$

$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}$, $L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m)/2 = 63.8 \text{ mm}$, $t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$

$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 3.26 \text{ mm}$, $b_{eff,t,wc} = 168.4 \text{ mm}$

$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_{tc}^3 / m^3 = 9.04 \text{ mm}$, $l_{eff} = 127.8 \text{ mm}$, $m = 26.9 \text{ mm}$

$\Sigma(1/k_{i,1}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.624 \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 1.603 \text{ mm}$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 2:

$$k_5 = 0.9 \cdot I_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 20.17 \text{ mm}, \quad I_{eff} = 128.5 \text{ mm}, \quad m = 35.8 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}, \quad L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m) / 2 = 63.8 \text{ mm}, \quad t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$$

$$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 2.93 \text{ mm}, \quad b_{eff,t,wc} = 151.2 \text{ mm}$$

$$k_4 = 0.9 \cdot I_{eff} \cdot t_{tc}^3 / m^3 = 7.82 \text{ mm}, \quad I_{eff} = 110.6 \text{ mm}, \quad m = 26.9 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,2}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.682 \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 1.467 \text{ mm}$$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 3:

$$k_5 = 0.9 \cdot I_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 31.87 \text{ mm}, \quad I_{eff} = 203.0 \text{ mm}, \quad m = 35.8 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}, \quad L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m) / 2 = 63.8 \text{ mm}, \quad t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$$

$$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 3.27 \text{ mm}, \quad b_{eff,t,wc} = 168.7 \text{ mm}$$

$$k_4 = 0.9 \cdot I_{eff} \cdot t_{tc}^3 / m^3 = 11.93 \text{ mm}, \quad I_{eff} = 168.7 \text{ mm}, \quad m = 26.9 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,3}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.584 \Rightarrow k_{eff,3} = 1 / \Sigma(1/k_{i,3}) = 1.713 \text{ mm}$$

$$\text{äquivalenter innerer Hebelarm: } z_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) = 198.8 \text{ mm}$$

$$k_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) / z_{eq} = 3.646 \text{ mm}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 1:

$$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 9.77 \text{ mm}, \quad A_{vc} = 51.13 \text{ cm}^2, \quad \beta = 1.0, \quad z = 198.8 \text{ mm}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 2:

$$k_2 = \infty \text{ (ausgesteift)}$$

$$\text{Summe der Steifigkeitskoeffizienten } \Sigma(1/k_i) = 1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_{eq} = 0.377$$

Rotationssteifigkeit

$$\text{Anfangsrotationssteifigkeit: } S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 22037.8 \text{ kNm/rad}, \quad z = z_{eq} = 198.8 \text{ mm}$$

$$\text{Biegemomente im Anschluss bzgl. des Druckpunkts: } M_{j,Ed} = 0.00 \text{ kNm}, \quad M_{j,Rd} = 98.46 \text{ kNm}$$

5. Endergebnis

Ausnutzung/Rotation der Verbindung

Lk	rechts			links			U _j	Gleichgewicht		
	S _{j,ini}	S _j	φ _j	S _{j,ini}	S _j	φ _j		ΣH	ΣV	ΣM
--	MNm/rad	MNm/rad	°	MNm/rad	MNm/rad	°		kN	kN	kNm
1	22.0	22.0	0.095	22.0	0.0	0	1.117*	300.00	200.00	69.61 !!
2	22.0	6.9	0.829	22.0	0.0	0	1.018!	140.00	200.00	133.25 !!
3	22.0	12.7	0.360	22.0	0.0	0	0.817	0.00	200.00	113.00 !!

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

Maximale Ausnutzung [Lk 1]: max U = 1.117 > 1 **Fehler !!**

Minimale Rotationssteifigkeit (rechts): min S_j = 6.9 MNm/rad, S_{j,ini} = 22.0 MNm/rad, φ_j = 0.829°

Tragfähigkeit nicht gewährleistet !!