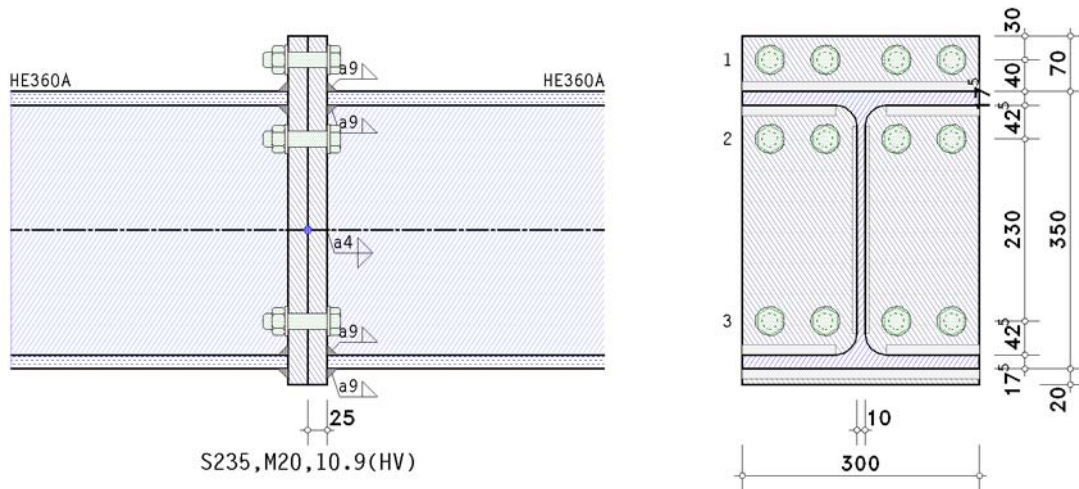
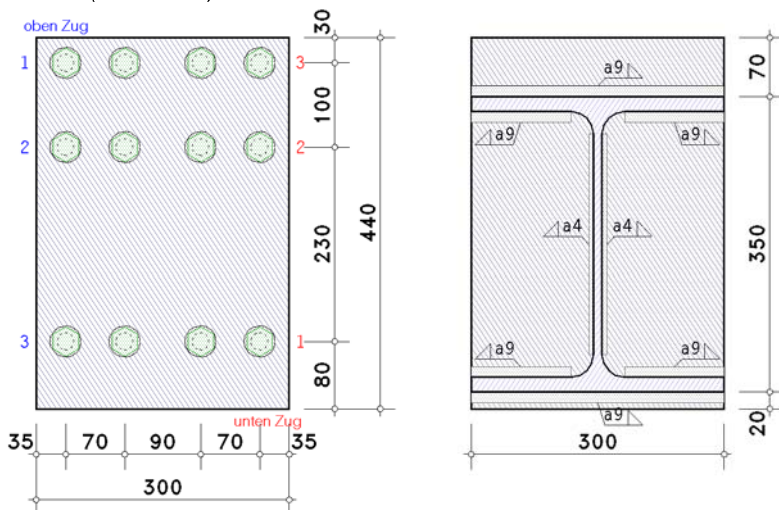


Biegesteifer Trägerstoß EC 3-1-8 (12.10), NA: Deutschland

1. Eingabeprotokoll



Details (Schnitt A - A)



Stahlsorte

Stahlgüte S235

Schrauben

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M20

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

Schaft in der Scherfuge

Parameter des Trägers

Profil HE360A

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss:

Dicke $t_p = 25.0 \text{ mm}$, Breite $b_p = 300.0 \text{ mm}$, Länge $l_p = 440.0 \text{ mm}$

Überstände $h_{p,o} = 70.0 \text{ mm}$, $h_{p,u} = 20.0 \text{ mm}$

Schrauben im Anschluss:

3 Schraubenreihen mit je 4 Schrauben

Reihe 1: 4 Schrauben, Reihe 2: 4 Schrauben, Reihe 3: 4 Schrauben

davon 2 Schraubenreihen oben unter Zugbelastung (Reihen 1-2)

und 1 Schraubenreihe zur Querkraftübertragung oben (Reihe 3)

davon 1 Schraubenreihe unten unter Zugbelastung (Reihe 3)

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

Berechnungsmethode (4 Schrauben je Reihe) nach Wagenknecht, Stahlbau-Praxis nach EC 3, Bd.3

Achsabstand zwischen Außen- und Innenschraube $w_2 = 70.0 \text{ mm}$

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 35.0 \text{ mm}$

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 30.0 \text{ mm}$

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 80.0 \text{ mm}$

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 100.0 \text{ mm}$, $p_{2-3} = 230.0 \text{ mm}$

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 9.0 \text{ mm}$

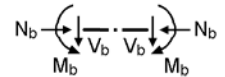
Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm}$

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 9.0 \text{ mm}$

Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung bezogen auf die Systemachsen

Lk 1: $M_{b,Ed} = 320.00 \text{ kNm}$ $V_{b,Ed} = 180.00 \text{ kN}$

Lk 2: $M_{b,Ed} = -120.00 \text{ kNm}$



Datencheck

ok

Abstände der Schraubenreihen am Stirnblech

horizontal: $e_2 = 35.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm}$,

horizontal: $p_2 = 70.0 \text{ mm} > 2.4 \cdot d_0 = 52.8 \text{ mm}$,

horizontal: $p_2 = 90.0 \text{ mm} > 2.4 \cdot d_0 = 52.8 \text{ mm}$,

vertikal: $e_1 = 30.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm}$,

vertikal: $p_1 = 100.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 48.4 \text{ mm}$,

vertikal: $p_1 = 230.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 48.4 \text{ mm}$,

vertikal: $e_1 = 80.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm}$,

$e_2 = 35.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 140.0 \text{ mm}$

$p_2 = 70.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$

$p_2 = 90.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$

$e_1 = 30.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 140.0 \text{ mm}$

$p_1 = 100.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$

$p_1 = 230.0 \text{ mm} > \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm} !!$

$e_1 = 80.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 140.0 \text{ mm}$

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

Hinweise

Die Querschnittsprofile werden nicht nachgewiesen.

2. Lk 1

Hinweise

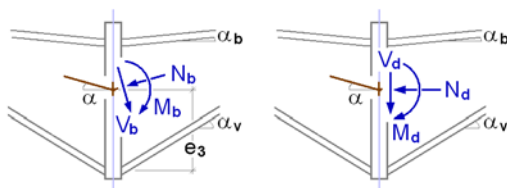
Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkräfte.

Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

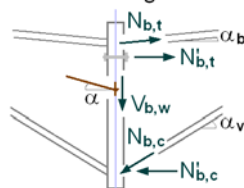
Schraubengruppen werden bei Anschlüssen mit 4 Schrauben je Reihe nicht untersucht.

2.1. Bemessungsgrößen

Anschnitt Anschluss $\perp$ zur Anschlussebene
Anschnitt Anschluss $\perp$ zur Anschlussebene



Teilschnittgrößen
Teilschnittgrößen



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

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

Transformation Anschlussgrößen -> Bemessungsgrößen

$M_d = 320.00 \text{ kNm}$, $V_d = 180.00 \text{ kN}$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger

$M_d = 320.00 \text{ kNm}$, $V_d = 180.00 \text{ kN}$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_d \cdot t_{ep} = 315.50 \text{ kNm}$

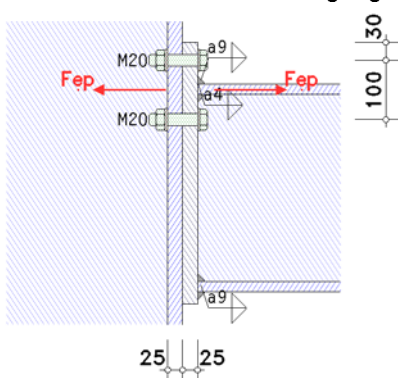
$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b = 948.87 \text{ kN}$, $z_b = 332.5 \text{ mm}$, $z_{bu} = 166.3 \text{ mm}$

$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b = 948.87 \text{ kN}$, $z_b = 332.5 \text{ mm}$, $z_{bo} = 166.3 \text{ mm}$

2.2. Grundkomponenten

Trägerstoß mit Stirnblech: Grundkomponenten: 5, 7, 8, 10, 11, 12

2.2.1. Gk 5: Stirnblech mit Biegung



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

Verbindungen mit 4 Schrauben je Schraubenreihe werden im EC 3-1-8 nicht behandelt.
Die Bemessung erfolgt nach Wagenknecht, Stahlbau-Praxis nach EC 3, Bd.3.

Überstehender Teil des Stirnblechs

Im überstehenden Teil des Stirnblechs wird nur eine Schraubenreihe ($n_b = 1$) betrachtet (4 Schrauben je Reihe).

Abstand der Schraubenachse vom Trägerflansch $m_1 = 29.8$ mm

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech)

$e_x = 30.0$ mm, $m_x = 29.8$ mm, $w_3 = 35.0$ mm, $w_2 = 70.0$ mm, $w_1 = b_p \cdot 2 \cdot (w_2 + w_3) = 90.0$ mm mit $b_p = 300.0$ mm, $b_{st} = 300.0$ mm

äußere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch / der Zugsteife

$$l_{eff,cp,1} = 2 \cdot (\pi \cdot m_x + w_2) = 327.3 \text{ mm}$$

$$l_{eff,cp,2} = \pi \cdot m_x + 2 \cdot w_2 + w_1 = 323.7 \text{ mm}$$

$$l_{eff,cp,3} = \pi \cdot m_x + 2 \cdot (w_2 + w_3) = 303.7 \text{ mm}$$

$$l_{eff,cp,4} = 4 \cdot \pi \cdot m_x = 374.7 \text{ mm}$$

$$l_{eff,cp,sa} = \min(l_{eff,cp,1}, l_{eff,cp,2}, l_{eff,cp,3}, l_{eff,cp,4}) = 303.7 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc,1} = 4 \cdot m_x + 1.25 \cdot e_x + w_2 = 226.8 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc,2} = 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x + w_2 + 0.5 \cdot w_1 = 193.4 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc,3} = 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x + w_2 + w_3 = 183.4 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc,4} = 8 \cdot m_x + 2.5 \cdot e_x = 313.5 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc,5} = w_2 + w_3 + 0.5 \cdot w_1 = 150.0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc,sa} = \min(l_{eff,nc,1}, l_{eff,nc,2}, l_{eff,nc,3}, l_{eff,nc,4}, l_{eff,nc,5}) = 150.0 \text{ mm}$$

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 150.0$ mm

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 150.0$ mm

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$n = \min(e_{min}, 1.25 \cdot m) = 30.0$ mm, $e_{min} = 30.0$ mm, $m = 29.8$ mm

aufnehmbare plastische Momente:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.51$ kNm, $t_f = 25.0$ mm, $f_y = 235.0$ N/mm², $\gamma_{M0} = 1.00$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.40$ kN, $k_2 = 0.90$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 4 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 705.60$ kN, $n_b = 1$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem Standard-Verfahren

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 738.87 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m + n) = 538.03 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 705.60 \text{ kN}, F_{T,4,Rd} = 2 \cdot M_{pl,1,Rd} / m = 369.43 \text{ kN}$$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 538.03$ kN

Scherfestigkeit: $f_{w,d} = (f_u / 3^{1/2}) / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 207.8$ N/mm², $f_u = 360.0$ N/mm², $\beta_w = 0.80$

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2 \cdot f_{w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 561.18$ kN (≥ 538.03 kN, nicht maßgebend)

Tragfähigkeit und effektive Länge eines Stirnblechs mit Biegung (Überstand)

$$F_{t,ep,Rd,1} = 538.03 \text{ kN}, l_{eff,1} = 150.0 \text{ mm}$$

Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 2 (4 Schrauben je Reihe)

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 32.3$ mm

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 35.0$ mm

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 35.5$ mm

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech)

innere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch / der Zugsteife

$$l_{eff,cp,1} = 4 \cdot \pi \cdot m = 445.8 \text{ mm}$$

$$l_{eff,cp,2} = 2 \cdot (\pi \cdot m + w_2) = 362.9 \text{ mm}$$

$$l_{eff,cp,3} = \pi \cdot m + 2 \cdot (w_2 + w_3) = 321.4 \text{ mm}$$

$$l_{eff,cp,si} = \min(l_{eff,cp,1}, l_{eff,cp,2}, l_{eff,cp,3}) = 321.4 \text{ mm}$$

Abstand der inneren Schraubenachse vom Flanschrand $e = 105.0$ mm

Beiwert für ausgesteifte Stützenflansche/Stirnbleche:

$$\text{Eingabewerte } \lambda_1 = m / (m + e) = 0.253, \lambda_2 = m_2 / (m + e) = 0.230 \Rightarrow \alpha = 7.37 \text{ (s. Bild 6.11)}$$

$$l_{eff,nc,1} = \alpha \cdot m = 261.4 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc,2} = 4 \cdot m + 1.25 \cdot (w_2 + w_3) = 273.1 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc,si} = \min(l_{eff,nc,1}, l_{eff,nc,2}) = 261.4 \text{ mm}$$

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 261.4$ mm

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 261.4$ mm

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$m = 35.5$ mm, $n = \min(w + e_{min}, 1.25 \cdot m) = 44.3$ mm

$n_1 = w = 70.0$ mm, $n_2 = \min(e_{min}, 1.25 \cdot m + n_1) = 35.0$ mm, $e_{min} = 35.0$ mm

aufnehmbare plastische Momente:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 9.60$ kNm, $t_f = 25.0$ mm, $f_y = 235.0$ N/mm², $\gamma_{M0} = 1.00$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.40$ kN, $k_2 = 0.90$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 4 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 705.60$ kN, $n_b = 1$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem Standard-Verfahren

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 1082.20 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + (n_1 + n_2) \cdot 0.25 \cdot \Sigma F_{t,Rd} \cdot (3.6 - 1.6 \cdot n_1 / (n_1 + n_2))) / (m + n_1 + n_2) = 470.67 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

$$F_{T,3,Rd} = 0.9 \cdot \Sigma F_{t,Rd} = 635.04 \text{ kN}, \quad F_{T,4,Rd} = (3.6 \cdot M_{pl,1,Rd}) / (1.8 \cdot m + 0.8 \cdot n_1) = 288.28 \text{ kN}$$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 470.67 \text{ kN}$

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

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2 \cdot f_{vw,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 434.62 \text{ kN}$, $a = 4.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = 261.4 \text{ mm}$

Gesamttragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = F_{T,w,Rd} = 434.62 \text{ kN}$

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

$$F_{ep,Rd,2} = 434.62 \text{ kN}, \quad l_{eff,2} = 261.4 \text{ mm}$$

2.2.2. Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

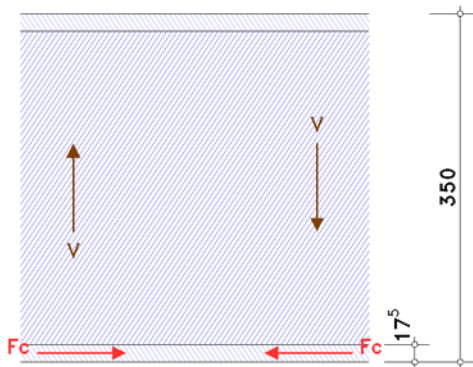
Querschnittsklasse des Trägers ($\varepsilon = 1.00$):

Flansch unten: Querschnittsklasse für $c/(\varepsilon \cdot t) = 6.74$ (einseitig gestützt): 1

Steg: Querschnittsklasse für $\alpha = 0.50$ und $c/(\varepsilon \cdot t) = 26.10$ (beidseitig gestützt, Biegung): 1

Gesamt: Querschnittsklasse des Profils: 1

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion $V_{Ed} = 180.0 \text{ kN}$



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

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot (f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0} = 664.2 \text{ kN}, \quad A_v = 48.96 \text{ cm}^2$$

$$V_{Ed} = 180.0 \text{ kN} \leq 332.1 \text{ kN} = V_{pl,Rd} / 2 \Rightarrow \text{kein Einfluss auf die Biegetragfähigkeit!}$$

Beanspruchung für Querschnittsklasse 1

$$\text{Tragfähigkeit } M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 490.68 \text{ kNm}, \quad W_{pl} = 2088.00 \text{ cm}^3$$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 1475.73 \text{ kN}, \quad (h - t_f) = 332.5 \text{ mm}$$

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot (f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0} = 664.2 \text{ kN}, \quad A_v = 48.96 \text{ cm}^2$$

$$V_{Ed} = 180.0 \text{ kN} \leq 332.1 \text{ kN} = V_{pl,Rd} / 2 \Rightarrow \text{kein Einfluss auf die Biegetragfähigkeit!}$$

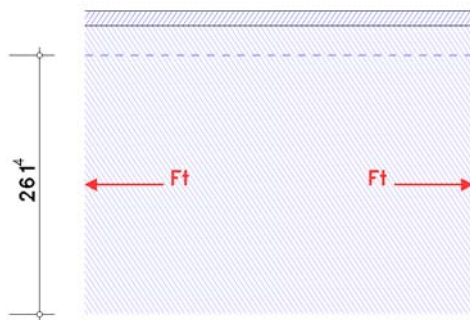
Beanspruchung für Querschnittsklasse 1

$$\text{Tragfähigkeit } M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 490.68 \text{ kNm}, \quad W_{pl} = 2088.00 \text{ cm}^3$$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 1475.73 \text{ kN}, \quad (h - t_f) = 332.5 \text{ mm}$$

2.2.3. Gk 8: Trägersteg mit Zugbeanspruchung



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

Für jede einzelne Schraubenreihe:

Reihe 2

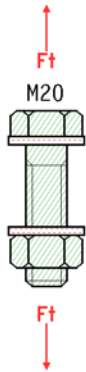
wirksame Breite

wirksame Breite des Trägerstegs mit Zugbeanspruchung $b_{eff,t,wb} = 261.4 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 614.2 \text{ kN}, \quad f_{y,wb} = 235.0 \text{ N/mm}^2$$

2.2.4. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



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

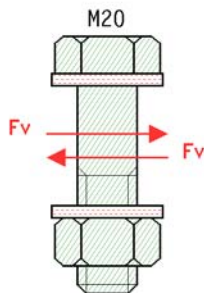
Schraubenkategorie D:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.40 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$, $f_{ub} = 1000.0 \text{ N/mm}^2$

Durchstantragfähigkeit: $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 454.85 \text{ kN}$, $d_m = 33.5 \text{ mm}$, $t_p = 25.0 \text{ mm}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$

Zug-/Durchstantragfähigkeit für 4 Schrauben: $\Sigma F_{tp,Rd} = 4 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 705.60 \text{ kN}$

2.2.5. Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung



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

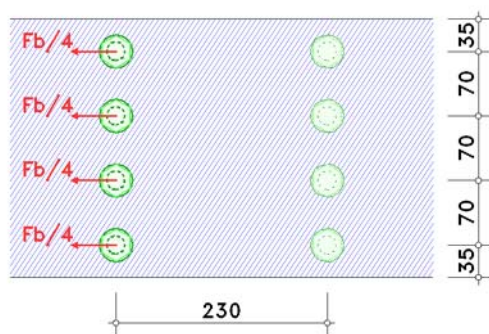
Schraubenkategorie A:

Schaft in der Scherfuge: $\alpha_v = 0.6$, $A = 3.14 \text{ cm}^2$

Abschertragfähigkeit je Scherfuge: $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 150.80 \text{ kN}$, $f_{ub} = 1000.0 \text{ N/mm}^2$

Abschertragfähigkeit für 4 Schrauben (1-schnittig): $\Sigma F_{v,Rd} = 4 \cdot F_{v,Rd} = 603.19 \text{ kN}$

2.2.6. Gk 12: Blech mit Lochleibungsbeanspruchung



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

Reihe 3

Schraube 1:

in Kraftrichtung wirkend: $\alpha_{d,i} = p_1 / (3 \cdot d_0) - 1/4 = 3.23$ (innen liegende Schraube)

$\Rightarrow \alpha_b = 1.00$ (der kleinste Wert von α_d oder $f_{ub}/f_u = 2.78$ oder 1.0)

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 2.75$ (innen liegende Schraube)

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 2.75$ (am Rand liegende Schraube)

$\Rightarrow k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 360.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$

Schraube 2:

in Kraftrichtung wirkend: $\alpha_{d,i} = p_1 / (3 \cdot d_0) - 1/4 = 3.23$ (innen liegende Schraube)

$\Rightarrow \alpha_b = 1.00$ (der kleinste Wert von α_d oder $f_{ub}/f_u = 2.78$ oder 1.0)

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 2.75$ (innen liegende Schraube)

$\Rightarrow k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 360.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$

Schraube 3:

in Kraftrichtung wirkend: $\alpha_{d,i} = p_1 / (3 \cdot d_0) - 1/4 = 3.23$ (innen liegende Schraube)

$\Rightarrow \alpha_b = 1.00$ (der kleinste Wert von α_d oder $f_{ub}/f_u = 2.78$ oder 1.0)

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 2.75$ (innen liegende Schraube)

$\Rightarrow k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 360.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$
Schraube 4:

in Kraftrichtung wirkend: $\alpha_{d,i} = p_1 / (3 \cdot d_0) - 1/4 = 3.23$ (innen liegende Schraube)

$\Rightarrow \alpha_b = 1.00$ (der kleinste Wert von α_d oder $f_{ub}/f_u = 2.78$ oder 1.0)

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 2.75$ (innen liegende Schraube)

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 2.75$ (am Rand liegende Schraube)

$\Rightarrow k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 360.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x4 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 1440.00 \text{ kN}$

2.3. Anschlusstragfähigkeit

2.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 381.3 \text{ mm}$, $h_2 = 281.3 \text{ mm}$

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

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 538.0 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 434.6 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 538.0 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 434.6 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 972.6 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponente: 7

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

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 1475.7 \text{ kN}$, $F_{tr,Rd} = 538.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 538.0 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 538.0 \text{ kN}$ (Reihe 1)

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 937.7 \text{ kN}$, $F_{tr,Rd} = 434.6 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 434.6 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 538.0 \text{ kN}$, $h_x = 381.3 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 670.3 \text{ kN}$, keine Abminderung

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 538.0 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 434.6 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd} = 972.6 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 5

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$\Sigma F_{c,Rd}^* = 2951.5 \text{ kN}$

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$M_{j,Rd} = \Sigma (F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 327.4 \text{ kNm}$

Zugtragfähigkeit

$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 972.6 \text{ kN}$

Drucktragfähigkeit

$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 2951.5 \text{ kN}$

2.3.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 603.2 \text{ kN}$

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 603.2 \text{ kN} = 603.2 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 1.000$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 603.2 \text{ kN}$

$\Sigma F_{vr,Rd} = 603.2 \text{ kN}$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 603.2 \text{ kN}$

2.3.3. Gesamt

$$M_{j,Rd} = 327.4 \text{ kNm} \quad N_{j,t,Rd} = 972.6 \text{ kN} \quad N_{j,c,Rd} = 2951.5 \text{ kN} \quad V_{j,Rd} = 603.2 \text{ kN}$$

2.4. Nachweise

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

2.4.1. Nachweis der Anschlussfähigkeit mit der Komponentenmethode

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d = 320.00 \text{ kNm}$

senkr. z. Anschlussebene

Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 180.00 \text{ kN}$

paral. z. Anschlussebene

Biegetragfähigkeit

$$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.978 < 1 \quad \text{ok}$$

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

$$V_{Ed}/V_{j,Rd} = 0.298 < 1 \quad \text{ok}$$

2.4.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig

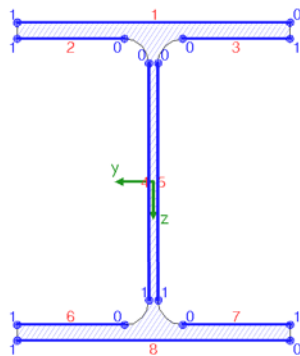
Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Naht 4: NA-DE: Blechdicke $t_{max} \geq 3 \text{ mm}$; Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} < a_{min} = t_{max}^{1/2} - 0.5 = 4.50 \text{ mm} \quad !!$

Naht 5: NA-DE: Blechdicke $t_{max} \geq 3 \text{ mm}$; Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} < a_{min} = t_{max}^{1/2} - 0.5 = 4.50 \text{ mm} \quad !!$

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:	$a_w = 9.0 \text{ mm}$	$l_w = 300.0 \text{ mm}$
Naht 2:	$a_w = 9.0 \text{ mm}$	$l_w = 118.0 \text{ mm}$
Naht 3:	siehe Naht 2	
Naht 4:	$a_w = 4.0 \text{ mm}$	$l_w = 261.0 \text{ mm}$
Naht 5:	siehe Naht 4	
Naht 6:	$a_w = 9.0 \text{ mm}$	$l_w = 118.0 \text{ mm}$
Naht 7:	siehe Naht 6	
Naht 8:	$a_w = 9.0 \text{ mm}$	$l_w = 300.0 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$$M_{y,Ed} = -320.00 \text{ kNm}, \quad V_{z,Ed} = 180.00 \text{ kN}$$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$$\Sigma A_w = 117.36 \text{ cm}^2, \quad A_{w,z} = 20.88 \text{ cm}^2, \quad \Sigma l_w = 159.4 \text{ cm}$$

$$I_{w,y} = 28260.50 \text{ cm}^4, \quad I_{w,z} = 8065.90 \text{ cm}^4, \quad W_{w,t} = 114.21 \text{ cm}^3, \quad \Delta z_w = 0.0 \text{ mm}$$

Schnittgrößenverteilung:

Naht 1: $N_w = 535.02 \text{ kN}$

Naht 2: $N_w = 189.40 \text{ kN}$

Naht 3: siehe Naht 2

Naht 4: $M_{y,w} = -6.71 \text{ kNm}$

Naht 5: siehe Naht 4

Naht 6: $N_w = -189.40 \text{ kN}$

Naht 7: siehe Naht 6

Naht 8: $N_w = -535.02 \text{ kN}$

aus konventioneller Querkraftaufteilung: $V_{z,w} = 180.00 \text{ kN}$

Spannungen in den Endpunkten der Nähte:

Naht 1, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 198.16 \text{ N/mm}^2$

Naht 2, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 178.34 \text{ N/mm}^2$

Naht 3, Pkt. 0: siehe Naht 2

Pkt. 1: siehe Naht 2

Naht 4, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 147.77 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 86.21 \text{ N/mm}^2$

Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -147.77 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 86.21 \text{ N/mm}^2$

Naht 5, Pkt. 0: siehe Naht 4

Pkt. 1: siehe Naht 4

Naht 6, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -178.34 \text{ N/mm}^2$

Naht 7, Pkt. 0: siehe Naht 6

Pkt. 1: siehe Naht 6

Naht 8, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -198.16 \text{ N/mm}^2$

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

Nachweis für Naht 1, Pkt. 0:

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

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 198.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 17.83 \text{ kN/cm}$$

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

$$F_{w,Ed} = 17.83 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 18.71 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.953 < 1 \quad \text{ok}$$

Nachweis für Naht 2, Pkt. 0:

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

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 178.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 16.05 \text{ kN/cm}$$

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

$$F_{w,Ed} = 16.05 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 18.71 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.858 < 1 \quad \text{ok}$$

Nachweis für Naht 4, Pkt. 0:

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

$$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_{w,x}^2 + \tau_{w,z}^2)^{1/2} = 171.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 6.84 \text{ kN/cm}$$

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

$$F_{w,Ed} = 6.84 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 8.31 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.823 < 1 \quad \text{ok}$$

Nachweis für Naht 4, Pkt. 1:

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

$$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_{w,x}^2 + \tau_{w,z}^2)^{1/2} = 171.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 6.84 \text{ kN/cm}$$

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

$$F_{w,Ed} = 6.84 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 8.31 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.823 < 1 \quad \text{ok}$$

Nachweis für Naht 6, Pkt. 0:

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

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 178.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 16.05 \text{ kN/cm}$$

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

$$F_{w,Ed} = 16.05 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 18.71 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.858 < 1 \quad \text{ok}$$

Nachweis für Naht 8, Pkt. 0:

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

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 198.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 17.83 \text{ kN/cm}$$

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

$$F_{w,Ed} = 17.83 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 18.71 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.953 < 1 \quad \text{ok}$$

Ergebnis:

$$\text{Naht 1, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = 198.16 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Max: } F_{w,Ed} = 17.83 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 18.71 \text{ kN/cm} \Rightarrow U_w = 0.953 < 1 \quad \text{ok}$$

2.4.3. Nachweisergebnis

$$\text{Maximale Ausnutzung: } \max U = 0.978 < 1 \quad \text{ok}$$

2.5. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 2 Zug-Schraubenreihen:

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 1 (4 Schrauben):

$$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 79.57 \text{ mm}, \quad l_{eff} = 150.0 \text{ mm}, \quad m = 29.8 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 5.43 \text{ mm}, \quad L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m)/2 = 72.3 \text{ mm}, \quad t_{ges} = 50.0 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,1}) = 1/k_5 + 1/k_5 + 1/(2 \cdot k_{10}) = 0.117 \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 8.526 \text{ mm}$$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 2 (4 Schrauben):

$$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 82.34 \text{ mm}, \quad l_{eff} = 261.4 \text{ mm}, \quad m = 35.5 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 5.43 \text{ mm}, \quad L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m)/2 = 72.3 \text{ mm}, \quad t_{ges} = 50.0 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,2}) = 1/k_5 + 1/k_5 + 1/(2 \cdot k_{10}) = 0.116 \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 8.588 \text{ mm}$$

$$\text{äquivalenter innerer Hebelarm: } z_{eq} = \Sigma(k_{eff,i} \cdot r_i^2) / \Sigma(k_{eff,i} \cdot r_i) = 338.6 \text{ mm}$$

$$k_{eq} = \Sigma(k_{eff,i} \cdot r_i \cdot h_r) / z_{eq} = 16.732 \text{ mm}$$

$$\text{Summe der Steifigkeitskoeffizienten } \Sigma(1/k_i) = 1/k_{eq} = 0.060$$

Rotationssteifigkeit

$$\text{Anfangsrotationssteifigkeit: } S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 402890.9 \text{ kNm/rad}, \quad z = z_{eq} = 338.6 \text{ mm}$$

$$\text{Biegemoment im Anschluss: } M_{j,Ed} = M_{Ed} = 320.00 \text{ kNm}$$

$$|M_{j,Ed}| = 320.00 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,Rd} = 218.2 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^\Psi = 2.810, \quad \Psi = 2.7$$

$$\text{Rotationssteifigkeit: } S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 143352.4 \text{ kNm/rad}$$

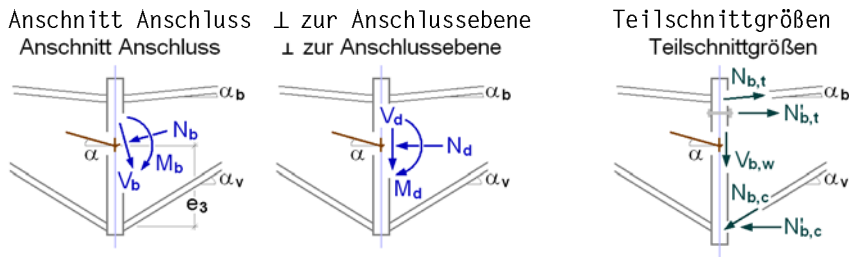
$$\text{Verdrehung: } \varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.128^\circ$$

3. Lk 2

Hinweise

Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkräfte. Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden. Schraubengruppen werden bei Anschlüssen mit 4 Schrauben je Reihe nicht untersucht.

3.1. Bemessungsgrößen



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

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

Transformation Anschlussgrößen -> Bemessungsgrößen

$M_d = -120.00 \text{ kNm}$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger

$M_d = -120.00 \text{ kNm}$

negatives Biegemoment $M_d \Rightarrow$ Modell wird gespiegelt

$M_d = 120.00 \text{ kNm}$

Teilschnittgrößen bezogen auf das gespiegelte Modell

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_d \cdot t_{ep} = 120.00 \text{ kNm}$

$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b = 360.90 \text{ kN}$, $z_b = 332.5 \text{ mm}$, $z_{bu} = 166.3 \text{ mm}$

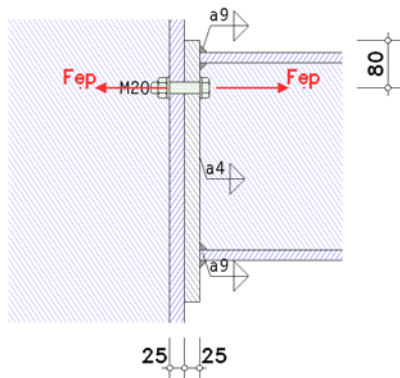
$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b = 360.90 \text{ kN}$, $z_b = 332.5 \text{ mm}$, $z_{bo} = 166.3 \text{ mm}$

Biegung: Schraubenreihen unterhalb des Druckpunkts werden ignoriert !!

3.2. Grundkomponenten

Trägerstoß mit Stirnblech: Grundkomponenten: 5, 7, 8, 10, 11, 12

3.2.1. Gk 5: Stirnblech mit Biegung



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

Verbindungen mit 4 Schrauben je Schraubenreihe werden im EC 3-1-8 nicht behandelt. Die Bemessung erfolgt nach Wagenknecht, Stahlbau-Praxis nach EC 3, Bd.3.

Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 32.3 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 35.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 35.5 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech)

innere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch / der Zugsteife

$l_{eff,cp,1} = 4 \cdot \pi \cdot m = 445.8 \text{ mm}$

$l_{eff,cp,2} = 2 \cdot (\pi \cdot m + w_2) = 362.9 \text{ mm}$

$l_{eff,cp,3} = \pi \cdot m + 2 \cdot (w_2 + w_3) = 321.4 \text{ mm}$

$l_{eff,cp,si} = \min(l_{eff,cp,1}, l_{eff,cp,2}, l_{eff,cp,3}) = 321.4 \text{ mm}$

Abstand der inneren Schraubenachse vom Flanschrand $e = 105.0 \text{ mm}$

Beiwert für ausgesteifte Stützenflansche/Stirnbleche:

Eingabewerte $\lambda_1 = m / (m + e) = 0.253$, $\lambda_2 = m_2 / (m + e) = 0.230 \Rightarrow \alpha = 7.37$ (s. Bild 6.11)

$l_{eff,nc,1} = \alpha \cdot m = 261.4 \text{ mm}$

$l_{eff,nc,2} = 4 \cdot m + 1.25 \cdot (w_2 + w_3) = 273.1 \text{ mm}$

$l_{eff,nc,si} = \min(l_{eff,nc,1}, l_{eff,nc,2}) = 261.4 \text{ mm}$
 für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 261.4 \text{ mm}$
 für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 261.4 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$m = 35.5 \text{ mm}$, $n = \min(w + e_{min}, 1.25 \cdot m) = 44.3 \text{ mm}$
 $n_1 = w = 70.0 \text{ mm}$, $n_2 = \min(e_{min}, 1.25 \cdot m + n_1) = 35.0 \text{ mm}$, $e_{min} = 35.0 \text{ mm}$
 aufnehmbare plastische Momente:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 9.60 \text{ kNm}$, $t_f = 25.0 \text{ mm}$, $f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_{M0} = 1.00$
 Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.40 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 4 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 705.60 \text{ kN}$, $n_b = 1$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem Standard-Verfahren

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 1082.20 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + (n_1 + n_2) \cdot 0.25 \cdot \Sigma F_{t,Rd} \cdot (3.6 - 1.6 \cdot n_1 / (n_1 + n_2))) / (m + n_1 + n_2) = 470.67 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = 0.9 \cdot \Sigma F_{t,Rd} = 635.04 \text{ kN}$, $F_{T,4,Rd} = (3.6 \cdot M_{pl,1,Rd}) / (1.8 \cdot m + 0.8 \cdot n_1) = 288.28 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 470.67 \text{ kN}$

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

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2 \cdot f_{vw,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 434.62 \text{ kN}$, $a = 4.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = 261.4 \text{ mm}$

Gesamttragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = F_{T,w,Rd} = 434.62 \text{ kN}$

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

$F_{ep,Rd,1} = 434.62 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 261.4 \text{ mm}$

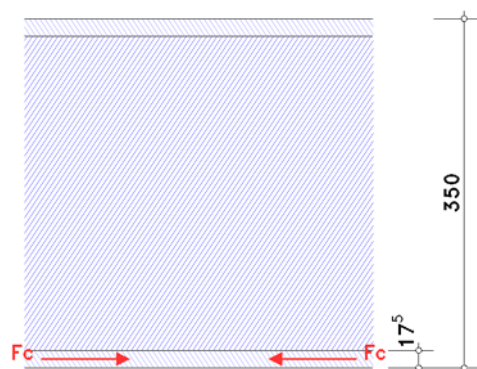
3.2.2. Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

Querschnittsklasse des Trägers ($\epsilon = 1.00$):

Flansch unten: Querschnittsklasse für $c/(\epsilon \cdot t) = 6.74$ (einseitig gestützt): 1

Steg: Querschnittsklasse für $\alpha = 0.50$ und $c/(\epsilon \cdot t) = 26.10$ (beidseitig gestützt, Biegung): 1

Gesamt: Querschnittsklasse des Profils: 1



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

Beanspruchung für Querschnittsklasse 1

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 490.68 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 2088.00 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 1475.73 \text{ kN}$, $(h - t_f) = 332.5 \text{ mm}$

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

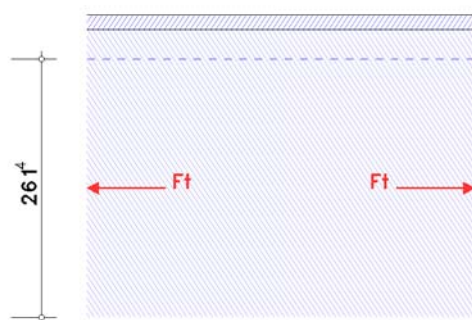
Beanspruchung für Querschnittsklasse 1

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 490.68 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 2088.00 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 1475.73 \text{ kN}$, $(h - t_f) = 332.5 \text{ mm}$

3.2.3. Gk 8: Trägersteg mit Zugbeanspruchung



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

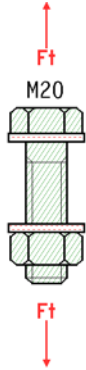
Für jede einzelne Schraubenreihe:
wirksame Breite

wirksame Breite des Trägerstegs mit Zugbeanspruchung $b_{eff,t,wb} = 261.4 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 614.2 \text{ kN}, \quad f_{y,wb} = 235.0 \text{ N/mm}^2$$

3.2.4. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



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

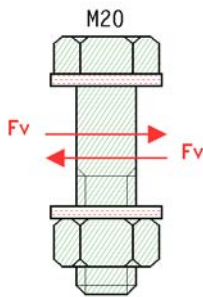
Schraubenkategorie D:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.40 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$, $f_{ub} = 1000.0 \text{ N/mm}^2$

Durchstantragfähigkeit: $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 454.85 \text{ kN}$, $d_m = 33.5 \text{ mm}$, $t_p = 25.0 \text{ mm}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$

Zug-/Durchstantragfähigkeit für 4 Schrauben: $\Sigma F_{tp,Rd} = 4 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 705.60 \text{ kN}$

3.2.5. Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung



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

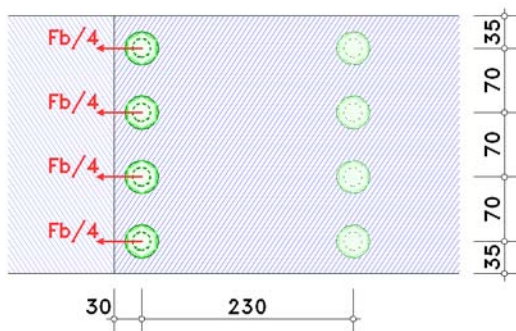
Schraubenkategorie A:

Schaft in der Scherfuge: $\alpha_v = 0.6$, $A = 3.14 \text{ cm}^2$

Abschertragfähigkeit je Scherfuge: $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 150.80 \text{ kN}$, $f_{ub} = 1000.0 \text{ N/mm}^2$

Abschertragfähigkeit für 4 Schrauben (1-schnittig): $\Sigma F_{v,Rd} = 4 \cdot F_{v,Rd} = 603.19 \text{ kN}$

3.2.6. Gk 12: Blech mit Lochleibungsbeanspruchung



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

Reihe 2

Schraube 1:

in Kraftrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 2.75$ (innen liegende Schraube)

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 2.75$ (am Rand liegende Schraube)

$\Rightarrow k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 360.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$

Schraube 2:

in Kraftrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 2.75$ (innen liegende Schraube)

$\Rightarrow k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 360.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$

Schraube 3:

in Kraftrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 2.75$ (innen liegende Schraube)

⇒ $k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 360.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$
Schraube 4:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 2.75$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 2.75$ (am Rand liegende Schraube)

⇒ $k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 360.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x4 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 1440.00 \text{ kN}$

Reihe 3

Schraube 1:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 2.75$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 2.75$ (am Rand liegende Schraube)

⇒ $k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 360.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$

Schraube 2:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 2.75$ (innen liegende Schraube)

⇒ $k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 360.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$

Schraube 3:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 2.75$ (innen liegende Schraube)

⇒ $k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 360.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$

Schraube 4:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 2.75$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 2.75$ (am Rand liegende Schraube)

⇒ $k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 360.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x4 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 1440.00 \text{ kN}$

Lochleibungstragfähigkeiten (2 Reihen)

$\Sigma F_{b,Rd,2} = 1440.00 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,3} = 1440.00 \text{ kN}$

3.3. Anschlusstragfähigkeit

3.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihe vom Druckpunkt: $h_1 = 281.3 \text{ mm}$

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

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 434.6 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 434.6 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 434.6 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponente: 7

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

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 1475.7 \text{ kN}$, $F_{tr,Rd} = 434.6 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 434.6 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 434.6 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd} = 434.6 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 5

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$\Sigma F_{c,Rd}^* = 2951.5 \text{ kN}$

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$M_{j,Rd} = \Sigma (F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 122.2 \text{ kNm}$

Zugtragfähigkeit

$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 434.6 \text{ kN}$

Drucktragfähigkeit

$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 2951.5 \text{ kN}$

3.3.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 603.2 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 603.2 \text{ kN}$

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 603.2 \text{ kN} = 603.2 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 1.000$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 603.2 \text{ kN} = 603.2 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 1.000$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 603.2 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 603.2 \text{ kN}$

$\Sigma F_{vr,Rd} = 1206.4 \text{ kN}$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 1206.4 \text{ kN}$

3.3.3. Gesamt

$M_{j,Rd} = 122.2 \text{ kNm}$ $N_{j,t,Rd} = 434.6 \text{ kN}$ $N_{j,c,Rd} = 2951.5 \text{ kN}$ $V_{j,Rd} = 1206.4 \text{ kN}$

3.4. Nachweise

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

3.4.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d = 120.00 \text{ kNm}$

senkr. z. Anschlussebene

Biegetragfähigkeit

$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.982 < 1$ ok

3.4.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig

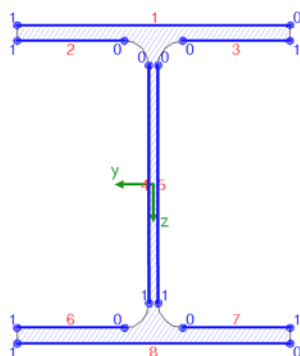
Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Naht 4: NA-DE: Blechdicke $t_{max} \geq 3 \text{ mm}$: Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} < a_{min} = t_{max}^{1/2} - 0.5 = 4.50 \text{ mm}$!!

Naht 5: NA-DE: Blechdicke $t_{max} \geq 3 \text{ mm}$: Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} < a_{min} = t_{max}^{1/2} - 0.5 = 4.50 \text{ mm}$!!

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1: $a_w = 9.0 \text{ mm}$ $l_w = 300.0 \text{ mm}$

Naht 2: $a_w = 9.0 \text{ mm}$ $l_w = 118.0 \text{ mm}$

Naht 3: siehe Naht 2

Naht 4: $a_w = 4.0 \text{ mm}$ $l_w = 261.0 \text{ mm}$

Naht 5: siehe Naht 4

Naht 6: $a_w = 9.0 \text{ mm}$ $l_w = 118.0 \text{ mm}$

Naht 7: siehe Naht 6

Naht 8: $a_w = 9.0 \text{ mm}$ $l_w = 300.0 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$M_{y,Ed} = -120.00 \text{ kNm}$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$\Sigma A_w = 117.36 \text{ cm}^2$, $A_{w,z} = 20.88 \text{ cm}^2$, $\Sigma l_w = 159.4 \text{ cm}$

$I_{w,y} = 28260.50 \text{ cm}^4$, $I_{w,z} = 8065.90 \text{ cm}^4$, $W_{w,t} = 114.21 \text{ cm}^3$, $\Delta z_w = 0.0 \text{ mm}$

Schnittgrößenverteilung:

Naht 1: $N_w = 200.63 \text{ kN}$

Naht 2: $N_w = 71.02 \text{ kN}$

Naht 3: siehe Naht 2

Naht 4: $M_{y,w} = -2.52 \text{ kNm}$

Naht 5: siehe Naht 4

Naht 6: $N_w = -71.02 \text{ kN}$

Naht 7: siehe Naht 6

Naht 8: $N_w = -200.63 \text{ kN}$

Spannungen in den Endpunkten der Nähte:

Naht 1, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 74.31 \text{ N/mm}^2$
 Naht 2, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 66.88 \text{ N/mm}^2$
 Naht 3, Pkt. 0: siehe Naht 2
 Pkt. 1: siehe Naht 2
 Naht 4, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 55.41 \text{ N/mm}^2$
 Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -55.41 \text{ N/mm}^2$
 Naht 5, Pkt. 0: siehe Naht 4
 Pkt. 1: siehe Naht 4
 Naht 6, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -66.88 \text{ N/mm}^2$
 Naht 7, Pkt. 0: siehe Naht 6
 Pkt. 1: siehe Naht 6
 Naht 8, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -74.31 \text{ N/mm}^2$

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

Nachweis für Naht 1, Pkt. 0:

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

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 74.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 6.69 \text{ kN/cm}$$

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

$$F_{w,Ed} = 6.69 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 18.71 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.358 < 1 \quad \text{ok}$$

Nachweis für Naht 2, Pkt. 0:

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

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 66.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 6.02 \text{ kN/cm}$$

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

$$F_{w,Ed} = 6.02 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 18.71 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.322 < 1 \quad \text{ok}$$

Nachweis für Naht 4, Pkt. 0:

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

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 55.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 2.22 \text{ kN/cm}$$

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

$$F_{w,Ed} = 2.22 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 8.31 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.267 < 1 \quad \text{ok}$$

Nachweis für Naht 4, Pkt. 1:

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

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 55.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 2.22 \text{ kN/cm}$$

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

$$F_{w,Ed} = 2.22 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 8.31 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.267 < 1 \quad \text{ok}$$

Nachweis für Naht 6, Pkt. 0:

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

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 66.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 6.02 \text{ kN/cm}$$

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

$$F_{w,Ed} = 6.02 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 18.71 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.322 < 1 \quad \text{ok}$$

Nachweis für Naht 8, Pkt. 0:

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

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 74.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 6.69 \text{ kN/cm}$$

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

$$F_{w,Ed} = 6.69 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 18.71 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.358 < 1 \quad \text{ok}$$

Ergebnis:

$$\text{Naht 1, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = 74.31 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Max: } F_{w,Ed} = 6.69 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 18.71 \text{ kN/cm} \Rightarrow U_w = 0.358 < 1 \quad \text{ok}$$

3.4.3. Nachweisergebnis

$$\text{Maximale Ausnutzung: } \max U = 0.982 < 1 \quad \text{ok}$$

3.5. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 5:

$$k_5 = 0.9 \cdot I_{\text{eff}} \cdot t_p^3 / m^3 = 82.34 \text{ mm, } I_{\text{eff}} = 261.4 \text{ mm, } m = 35.5 \text{ mm (Schraubenreihe 1)}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 10:

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 5.43 \text{ mm, } L_b = t_{\text{ges}} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m) / 2 = 72.3 \text{ mm, } t_{\text{ges}} = 50.0 \text{ mm}$$

$$\text{Summe der Steifigkeitskoeffizienten } \Sigma(1/k_i) = 1/k_5 + 1/k_5 + 1/(2 \cdot k_{10}) = 0.116$$

Rotationssteifigkeit

$$\text{Anfangsrotationssteifigkeit: } S_{j,\text{ini}} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 142652.2 \text{ kNm/rad, } z = 281.3 \text{ mm}$$

$$\text{Biegemoment im Anschluss: } M_{j,Ed} = M_{Ed} = 120.00 \text{ kNm}$$

$$|M_{j,Ed}| = 120.00 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,Rd} = 81.5 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^\Psi = 2.843, \Psi = 2.7$$

$$\text{Rotationssteifigkeit: } S_{j,Rd} = S_{j,\text{ini}} / \mu = 50174.7 \text{ kNm/rad}$$

Verdrehung: $\varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.137^\circ$

4. Endergebnis

Ausnutzung/Rotation der Verbindung

Lk	Ausnutzung/Rotation der Verbindung				Gleichgewicht		
	$S_{j,ini}$ MNm/rad	S_j MNm/rad	φ_j °	U_j	ΣH kN	ΣV kN	ΣM kNm
1	402.9	143.4	0.128	0.978	0.00	180.00	320.00 !!
2	142.7	50.2	0.137	0.982*	0.00	0.00	120.00 !!

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

Maximale Ausnutzung [Lk 2]:

max $U = 0.982 < 1$ ok

Minimale Rotationssteifigkeit:

min $S_j = 50.2$ MNm/rad, $S_{j,ini} = 142.7$ MNm/rad, $\varphi_j = 0.137^\circ$

Nachweis erbracht