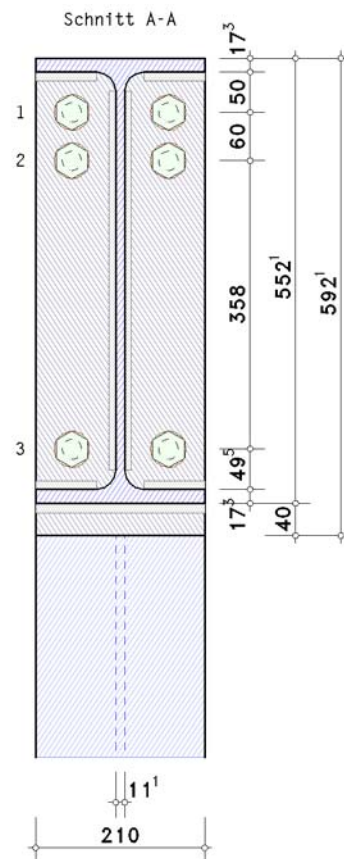


EC 3-1-8 (12.10), NA: Deutschland



The drawing shows a rectangular plate with four hexagonal holes arranged in a 2x2 grid. The plate has a width of 210 and a height of 592. The holes are positioned such that the distance between the center of the top two holes is 120, and the distance between the center of the bottom two holes is 120. The distance from the top edge to the center of the top holes is 67, and the distance from the bottom edge to the center of the bottom holes is 106. The distance between the center of the top holes and the center of the bottom holes is 60. The plate is labeled 'oben Zug' (top tension) and 'unten Zug' (bottom tension). The cross-section view on the right shows a T-shaped profile with a total height of 552 and a width of 210. The top flange has a thickness of 40. The web has a thickness of 120. The distance from the top flange to the center of the web is 67, and the distance from the bottom flange to the center of the web is 106. The distance between the center of the top flange and the center of the bottom flange is 60. The cross-section is labeled with 'a8' and 'a6'.

Stahlsorte

Stahlgüte S 235

Parameter der Stütze

Profil IPE550

Verstärkung des Profils durch Quersteifen (Stegsteifen in Höhe von Trägerzug- und -druckflansch, $d_{st} = 531.6$ mm):

Dicke $t_{st} = 20.0$ mm, Breite $b_{st} = 95.0$ mm

Schweißnähte $a_{st,f} = 8.0$ mm, $a_{st,w} = 5.0$ mm

Parameter des Trägers

Profil IPE550

Neigungswinkel des Profils gegen die Horizontale $\alpha_b = 5.00^\circ \Rightarrow$ Profilhöhe im Anschluss $h_b = h/\cos(\alpha_b) = 552.1$ mm

Schrauben

Schraube, Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M24

große Schlüsselweite (HV-Schraube)

Schaft liegt in der Scherfuge

Stützenflanschverstärkung: Dicke $t_{bp} = 15.0$ mm

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss:

Dicke $t_p = 20.0$ mm, Länge $l_p = 592.1$ mm, Breite $b_p = 210.0$ mm

Überstände $h_{p,o} = 0.0$ mm, $h_{p,u} = 40.0$ mm

Schrauben im Anschluss:

3 Schraubenreihe(n) mit je 2 Schrauben

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

und 1 Schraubenreihe zur Querkraftübertragung bei Zug oben (Reihe 3)

davon 1 Schraubenreihe unten (M-) unter Zugbelastung (Reihe 3)

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

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 45.0$ mm

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 67.3$ mm

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 106.8$ mm

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum freien Rand der Stütze (Endreihe) $e_1' = 64.0$ mm

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 60.0$ mm, $p_{2-3} = 358.0$ mm

Schweißnähte im Anschluss:

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

Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 6.0$ mm

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

Schnittgrößen im Knotenpunkt der Systemachsen

Lk 1: Ek 4 (rechte Rahmenecke)

$N_{j,b1,Ed} = -58.30$ kN $M_{j,b1,Ed} = -292.00$ kNm $V_{j,b1,Ed} = 103.30$ kN

Lk 2: Ek 5 (linke Rahmenecke)

$N_{j,b1,Ed} = -3.00$ kN $M_{j,b1,Ed} = 52.20$ kNm $V_{j,b1,Ed} = -3.80$ kN

Lk 3: Ek 2 (rechte Rahmenecke)

$N_{j,b1,Ed} = -61.00$ kN $M_{j,b1,Ed} = -281.70$ kNm $V_{j,b1,Ed} = 117.00$ kN

Teilsicherheitsbeiwerte

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

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

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

Hinweise

Die Querschnittsprofile im Bereich des Anschlusses werden nicht nachgewiesen.

Die Stegsteifen werden nicht nachgewiesen.

Platten- und Schubbeulen wird nicht untersucht.

Komponentenmethode

Abstände der Schraubenreihen am Stirnblech

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

Lochabstand: $p_2 = 210.0$ mm $> 2.4 \cdot d_0 = 62.4$ mm,

Randabstand: $e_1 = 67.3$ mm $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$ mm,

Lochabstand: $p_1 = 60.0$ mm $> 2.2 \cdot d_0 = 57.2$ mm,

Lochabstand: $p_1 = 358.0$ mm $> 2.2 \cdot d_0 = 57.2$ mm,

Randabstand: $e_1 = 106.8$ mm $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$ mm,

$e_2 = 45.0$ mm $< 4 \cdot t_{min} + 40$ mm = 108.8 mm

$p_2 = 210.0$ mm $> \min(14 \cdot t_{min}, 200$ mm) = 200.0 mm !!

$e_1 = 67.3$ mm $< 4 \cdot t_{min} + 40$ mm = 108.8 mm

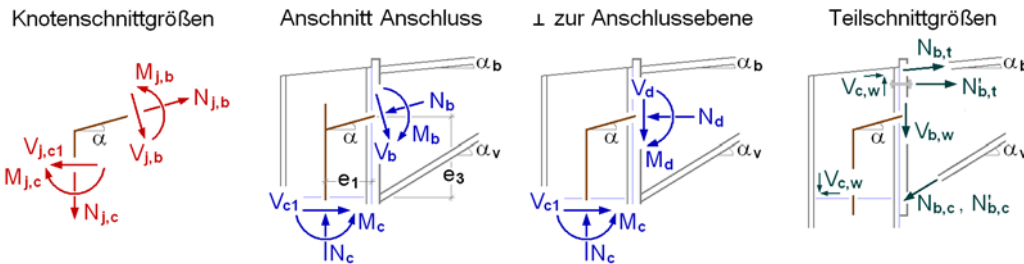
$p_1 = 60.0$ mm $< \min(14 \cdot t_{min}, 200$ mm) = 200.0 mm

$p_1 = 358.0$ mm $> \min(14 \cdot t_{min}, 200$ mm) = 200.0 mm !!

$e_1 = 106.8$ mm $< 4 \cdot t_{min} + 40$ mm = 108.8 mm

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

Bemessungsgrößen



Neigungswinkel: $\alpha_b = \alpha_v = \alpha = 5.0^\circ$

Schnittgrößen im Anschluss bezogen auf die Systemachsen

$$N_{b,Ed} = -N_{j,b,Ed} = 58.30 \text{ kN}$$

$$M_{b,Ed} = -M_{j,b,Ed} - V_{j,b,Ed} \cdot e_1 / \cos(\alpha) = 263.48 \text{ kNm}, \quad e_1 = 275.0 \text{ mm}$$

$$V_{b,Ed} = V_{j,b,Ed} = 103.30 \text{ kN}$$

Anschnitt Stütze (unten):

$$N_{c,Ed} = N_{b,Ed} \cdot \sin(\alpha) + V_{b,Ed} \cdot \cos(\alpha) = 107.99 \text{ kN}$$

$$V_{c,Ed} = N_{b,Ed} \cdot \cos(\alpha) - V_{b,Ed} \cdot \sin(\alpha) = 49.07 \text{ kN}$$

$$M_{c,Ed} = M_{b,Ed} - V_{c,Ed} \cdot e_3 + N_{c,Ed} \cdot e_1 = 280.14 \text{ kNm}, \quad e_1 = 275.0 \text{ mm}, \quad e_3 = 265.7 \text{ mm}$$

Schnittgrößen senkrecht zur Anschlussebene

$$N_d = N_{b,Ed} \cdot \cos(\alpha) - V_{b,Ed} \cdot \sin(\alpha) = 49.07 \text{ kN}$$

$$M_d = M_{b,Ed} = 263.48 \text{ kNm}$$

$$V_d = N_{b,Ed} \cdot \sin(\alpha) + V_{b,Ed} \cdot \cos(\alpha) = 107.99 \text{ kN}$$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d + N_d \cdot t_{ep} \cdot \tan(\alpha) - V_d \cdot t_{ep} = 261.41 \text{ kN}$

$$N_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu} / z_b + M'_d / z_b) / \cos(\alpha_b) = 466.00 \text{ kN}, \quad z_b = 534.8 \text{ mm}, \quad z_{bu} = 267.4 \text{ mm}$$

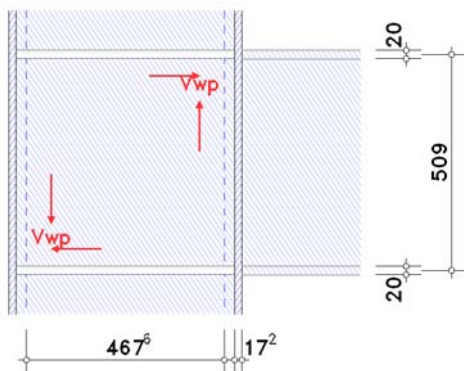
$$N_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo} / z_b + M'_d / z_b) / \cos(\alpha_b) = 515.27 \text{ kN}, \quad z_b = 534.8 \text{ mm}, \quad z_{bo} = 267.4 \text{ mm}$$

Grundkomponenten

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

Grundkomponente 1: Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung

Übertragungsparameter (Tabelle 5.4) $\beta = 1.0$



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

Schlankheit des Stützenstegs $d_c/t_{wc} = 42.13 < 69 \cdot \epsilon = 69.00 \Rightarrow$ Verfahren anwendbar
plastische Schubtragfähigkeit ohne Steifen $V_{wp,Rd} = (0.9 \cdot f_{y,wc} \cdot A_{vc}) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 883.4 \text{ kN}$

Anordnung von zwischenliegenden Stegsteifen:

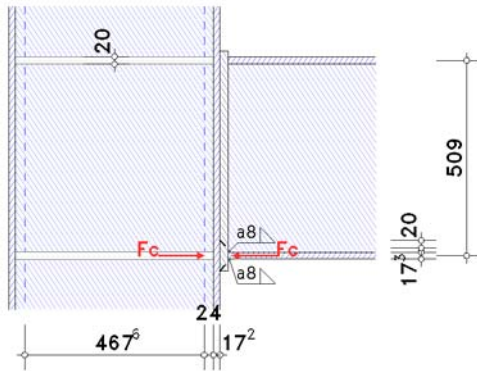
$$\text{zusätzliche Tragfähigkeit } V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd} / d_{st} = 28.7 \text{ kN} \leq 2 \cdot (M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,st,Rd}) / d_{st} = 31.9 \text{ kN} \quad \text{ok.}$$

plastische Schubtragfähigkeit mit Quersteifen $V_{wp,Rd} = 912.0 \text{ kN}$

Grundkomponente 2: Stützensteg mit Querdrukbeanspruchung

Übertragungsparameter (Tabelle 5.4) $\beta = 1.0$

Maximale Längsdruckspannung im Stützensteg $\sigma_{com,Ed} = 105.60 \text{ N/mm}^2$



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

Verstärkung des Stegs durch Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: $c/t = 4.8 \cdot \varepsilon \leq 9 \cdot \varepsilon \Rightarrow$ Q-Klasse $1 \leq 2$ **ok.**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfeldes (Abstand der Steifen) $a = 509.0 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen $h_{wc} = 515.6 \text{ mm}$

Trägheitsmoment der Steifen $I_{st} = 1355.45 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für $a/h_{wc} = 0.99 < 2^{1/2}$: $I_{st,min} = 108.52 \text{ cm}^4 < I_{st}$ **ok.**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen $I_T = 25.33 \text{ cm}^4$

polares Trägheitsmoment der Steifen $I_p = 149.23 \text{ cm}^4$

$I_T / I_p \approx 0.170 > 0.006 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st}$ **ok.**

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung:

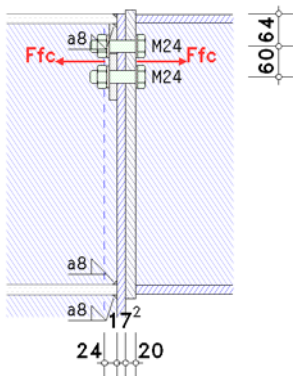
Fläche der Steifen einschl. Steg $A_{st} = 40.22 \text{ cm}^2$

Schlankheitsgrad $\lambda = 0.095$

$\lambda \leq 0.2 \Rightarrow$ keine Abminderung ($\chi = 1.0$)

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken $F_{c,w,Rd} = 859.2 \text{ kN}$

Grundkomponente 4: Stützenflansch mit Biegung



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

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe maßgebend):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 1

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 219.4 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 221.5 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 219.4 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 3.81 \text{ kNm}$

Flanschverstärkung: $M_{bp,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_{bp}^2 \cdot f_{y,bp}) / \gamma_{M0} = 2.90 \text{ kNm}$

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

$L_b = 77.7 \text{ mm} \leq 121.9 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs (Verfahren 1)

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd} + 2 \cdot M_{bp,Rd}) / m = 597.34 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 378.57 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 378.57 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 197.2 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 221.5 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 197.2 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 3.43 \text{ kNm}$

Flanschverstärkung: $M_{bp,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_{bp}^2 \cdot f_{y,bp}) / \gamma_{M0} = 2.61 \text{ kNm}$

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

$L_b = 77.7 \text{ mm} \leq 135.6 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs (Verfahren 1)

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd} + 2 \cdot M_{bp,Rd}) / m = 536.97 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 368.85 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 368.85 \text{ kN}$

Tragfähigkeiten eines Stützenflanschs mit Biegung (je Schraubenreihe)

$F_{fc,Rd,1} = 378.6 \text{ kN}$, zugeh. $l_{eff} = 219.4 \text{ mm}$

$F_{fc,Rd,2} = 368.9 \text{ kN}$, zugeh. $l_{eff} = 197.2 \text{ mm}$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Gruppe von Schraubenreihen maßgebend):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 2$ (zwischen den Steifen)

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 279.4 \text{ mm}$, $\Sigma l_{eff,cp} = 341.5 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 279.4 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 4.86 \text{ kNm}$

Flanschverstärkung: $M_{bp,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_{bp}^2 \cdot f_{y,bp}) / \gamma_{M0} = 3.69 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 1016.64 \text{ kN}$

$L_b = 77.7 \text{ mm} \leq 191.4 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs (Verfahren 1)

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd} + 2 \cdot M_{bp,Rd}) / m = 760.67 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 687.27 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 1016.64 \text{ kN}$

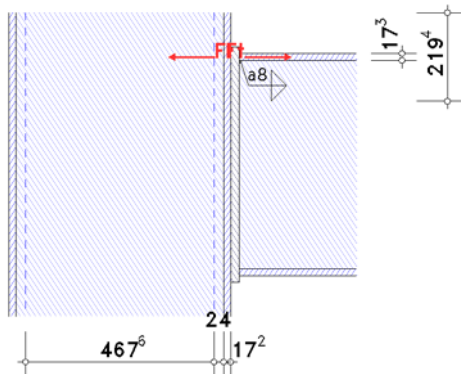
Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 687.27 \text{ kN}$

Tragfähigkeit eines Stützenflanschs mit Biegung (Schraubengruppe, 2 Reihen)

$F_{fc,Rd} = 687.3 \text{ kN}$, zugeh. $l_{eff} = 279.4 \text{ mm}$

Grundkomponente 3: Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung

Übertragungsparameter (Tabelle 5.4) $\beta = 1.0$



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

Jede einzelne Schraubenreihe maßgebend:

Reihe 1

wirksame Breite $b_{eff,t} = 219.4 \text{ mm}$ (Σl_{eff} aus Gk 4)

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.934$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 534.4 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Breite $b_{eff,t} = 197.2 \text{ mm}$ (Σl_{eff} aus Gk 4)

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.945$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 486.4 \text{ kN}$

Gruppe von Schraubenreihen maßgebend:

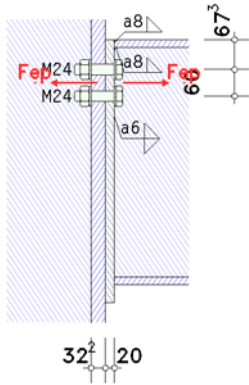
wirksame Breite $b_{eff,t} = 279.4 \text{ mm}$ (Σl_{eff} aus Gk 4)

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.898$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 654.8 \text{ kN}$

Grundkomponente 5: Stirnblech mit Biegung



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

Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe maßgebend):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 1

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 277.8 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 299.5 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 277.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 6.53 \text{ kNm}$

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

$L_b = 77.7 \text{ mm} \leq 151.3 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs (Verfahren 1)

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 547.85 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 387.76 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 387.76 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 246.9 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 299.5 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 246.9 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.80 \text{ kNm}$

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

$L_b = 77.7 \text{ mm} \leq 170.3 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs (Verfahren 1)

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 486.94 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 372.09 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 372.09 \text{ kN}$

Tragfähigkeiten eines Stirnblechs mit Biegung (je Schraubenreihe):

$F_{cp,Rd,1} = 387.8 \text{ kN}$, zugeh. $l_{eff} = 277.8 \text{ mm}$

$F_{cp,Rd,2} = 372.1 \text{ kN}$, zugeh. $l_{eff} = 246.9 \text{ mm}$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Gruppe von Schraubenreihen maßgebend):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 2$

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 337.8 \text{ mm}$, $\Sigma l_{eff,cp} = 419.5 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 337.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 7.94 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 1016.64 \text{ kN}$

$L_b = 77.7 \text{ mm} \leq 248.9 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs (Verfahren 1)

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 666.18 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 665.05 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 1016.64 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 665.05 \text{ kN}$

Tragfähigkeit eines Stirnblechs mit Biegung (Schraubengruppe, 2 Reihe(n))

$$F_{t,ep,Rd} = 665.0 \text{ kN}, \text{ zugeh. } l_{eff} = 337.8 \text{ mm}$$

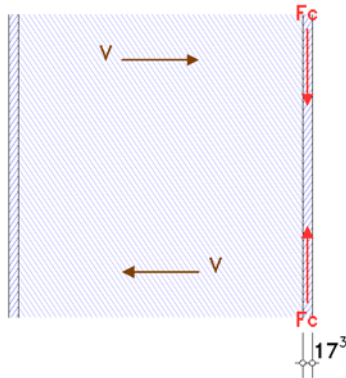
Grundkomponente 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

Flansch unten: Querschnittsklasse für $c/(\varepsilon \cdot t) = 4.37: 1$

Steg: Querschnittsklasse für $\alpha = 0.52$ und $c/(\varepsilon \cdot t) = 42.30: 1$

Querschnittsklasse des Trägers in der Anschlussebene: 1

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion $V_{Ed} = 108.0 \text{ kN}$



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

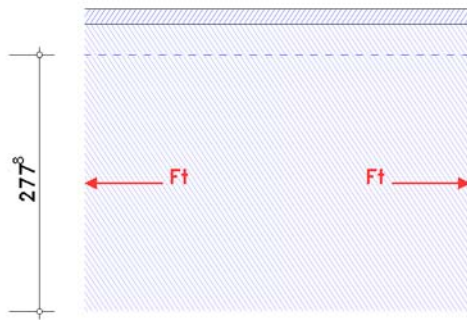
Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 108.0 \text{ kN} \leq 492.5 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss

Biegetragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 642.25 \text{ kNm}$

Tragfähigkeit eines Flanschs und Stegs mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 1200.84 \text{ kN}$$

Grundkomponente 8: Trägersteg mit Zugbeanspruchung



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

Jede einzelne Schraubenreihe maßgebend:

Reihe 1

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 277.8 \text{ mm}$ (Σl_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 724.6 \text{ kN}$$

Reihe 2

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 246.9 \text{ mm}$ (Σl_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 644.0 \text{ kN}$$

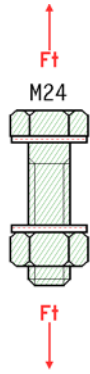
Gruppe von Schraubenreihen maßgebend:

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 337.8 \text{ mm}$ (Σl_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 881.1 \text{ kN}$$

Grundkomponente 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



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

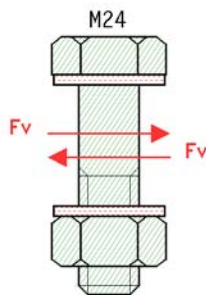
Schraubenkategorie D:

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

Durchstanztragfähigkeit: $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 402.44 \text{ kN}$, $t_p = 17.2 \text{ mm}$

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

Grundkomponente 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung



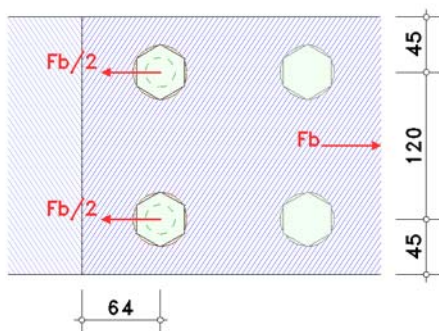
In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Schraubenkategorie A:

Abschertragfähigkeit je Scherfuge: $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 217.15 \text{ kN}$, $\alpha_v = 0.60$

Abschertragfähigkeit für 2 Schrauben: $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 434.29 \text{ kN}$

Grundkomponente 12: Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung



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

Lochleibungswiderstand: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 178.33 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.82$

Lochleibungstragfähigkeit für 2 Schrauben je Reihe: $\Sigma F_{b,Rd} = 2 \cdot F_{b,Rd} = 356.66 \text{ kN}$

Anschluss­tragfähigkeit

Biege-/Zugtragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihe(n) vom Druckpunkt:

$h_1 = 476.2 \text{ mm}$, $h_2 = 416.2 \text{ mm}$

Tragfähigkeiten nach 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 368.9 \text{ kN}$

Abminderungen nach 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stütze)

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

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

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 654.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 687.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN}$ (Reihe 1)

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 276.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 368.9 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 276.3 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 308.7 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 276.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 276.3 \text{ kN}$

Abminderungen nach 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stirnblech)

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

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

Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 665.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN}$

Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 881.1 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN}$ (Reihe 1)

Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 286.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 276.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 276.3 \text{ kN}$

Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 502.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 276.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 276.3 \text{ kN}$

Abminderungen nach 6.2.7.2(7)

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

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

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta - \Sigma F_{tr,Rd} = 912.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 859.2 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,fb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 1200.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN}$ (Reihe 1)

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta - \Sigma F_{tr,Rd} = 533.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 276.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 276.3 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 480.7 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 276.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 276.3 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,fb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 822.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 276.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 276.3 \text{ kN}$

Kontrolle nach 6.2.7.2(9)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 378.6 \text{ kN}$, $h_x = 476.2 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq 0.95 \cdot \Sigma F_{t,Rd} = 482.9 \text{ kN}$, keine Abminderung

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (endgültig)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 378.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 276.3 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 3, 4

Biegetragfähigkeit

$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 295.2 \text{ kNm}$

Zugtragfähigkeit

$N_{j,Rd} = M_{j,Rd}/z_{bu} = 1111.3 \text{ kN}$

Drucktragfähigkeit

$N_{j,c,Rd} = \min F_{c,Rd} \cdot z/z_{bo} = 2096.7 \text{ kN}$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 356.7 \text{ kN}$

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

$\Sigma F_{t,Rd} = 508.3 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = f_v \cdot 356.7 \text{ kN} = 356.7 \text{ kN}$ mit $f_v = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 1.000$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (endgültig)

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 356.7 \text{ kN}$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 356.7 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit

maßgebende Grundkomponente: 1

$V_{wp,Rd}/\beta = 912.0 \text{ kN}$

Gesamt

$N_{j,Rd} = 1111.3 \text{ kN}$ $N_{j,c,Rd} = 2096.7 \text{ kN}$ $M_{j,Rd} = 295.2 \text{ kNm}$ $V_{j,Rd} = 356.7 \text{ kN}$ $V_{wp,Rd}/\beta = 912.0 \text{ kN}$

Nachweise

Nachweis der Anschluss Tragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Normalkraft: $N_{b,Ed} = |N_d \cdot \cos(\alpha) + V_d \cdot \sin(\alpha)| = 58.30 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 158.52 \text{ kN} \Rightarrow$ Biegung ohne Normalkraft
bez. der Trägerachse
Biegemoment: $M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu} = 250.45 \text{ kNm}$, $z_{bu} = 265.7 \text{ mm}$
Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 107.99 \text{ kN}$
Schubkraft: $V_{wp,Ed} = M_{d,w}/z - V_d/2 = 564.76 \text{ kN}$, $M_{d,w} = 265.3 \text{ kNm}$, $z = z_{eq} = 450.1 \text{ mm}$

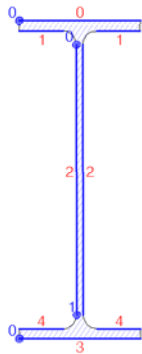
$$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.848 < 1 \text{ ok.}$$

$$V_{wp,Ed}/(V_{wp,Rd}/\beta) = 0.619 < 1 \text{ ok.}$$

$$V_{Ed}/V_{j,Rd} = 0.303 < 1 \text{ ok.}$$

Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 0: Trägerflansch mit Zug außen Naht 1: Trägerflansch mit Zug innen
Naht 2: Trägersteg beidseitig
Naht 3: Trägerflansch mit Druck außen Naht 4: Trägerflansch mit Druck innen



Naht 0:	$a_w = 8.0 \text{ mm}$	$l_w = 210.0 \text{ mm}$
Naht 1:	$a_w = 8.0 \text{ mm}$	$l_w = 150.9 \text{ mm}$
Naht 2:	$a_w = 6.0 \text{ mm}$	$l_w = 939.1 \text{ mm}$
Naht 3:	$a_w = 8.0 \text{ mm}$	$l_w = 210.0 \text{ mm}$
Naht 4:	$a_w = 8.0 \text{ mm}$	$l_w = 150.9 \text{ mm}$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$$A_{w,z} = 56.35 \text{ cm}^2, \quad A_w = 114.09 \text{ cm}^2$$

$$I_{w,y} = 52127.42 \text{ cm}^4, \quad z_w = 276.1 \text{ mm}$$

Spannungen in den Eckpunkten des Linienquerschnitts:

Naht 0, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 135.23 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 0.00 \text{ N/mm}^2$
Naht 2, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 114.37 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 19.16 \text{ N/mm}^2$
Pkt. 1:	$\sigma_{w,x} = -122.98 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 19.16 \text{ N/mm}^2$
Naht 3, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -143.83 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 0.00 \text{ N/mm}^2$

Nachweise in den Eckpunkten des Linienquerschnitts:

Naht 0, Pkt. 0:	$\sigma_s = 9.56 \text{ kN/cm}^2$	$\tau_s = 9.56 \text{ kN/cm}^2$	$\tau_p = 0.00 \text{ kN/cm}^2$	$\Rightarrow U = 0.531 < 1 \text{ ok.}$
Naht 2, Pkt. 0:	$\sigma_s = 8.09 \text{ kN/cm}^2$	$\tau_s = 8.09 \text{ kN/cm}^2$	$\tau_p = 1.92 \text{ kN/cm}^2$	$\Rightarrow U = 0.459 < 1 \text{ ok.}$
Pkt. 1:	$\sigma_s = -8.70 \text{ kN/cm}^2$	$\tau_s = -8.70 \text{ kN/cm}^2$	$\tau_p = 1.92 \text{ kN/cm}^2$	$\Rightarrow U = 0.492 < 1 \text{ ok.}$
Naht 3, Pkt. 0:	$\sigma_s = -10.17 \text{ kN/cm}^2$	$\tau_s = -10.17 \text{ kN/cm}^2$	$\tau_p = 0.00 \text{ kN/cm}^2$	$\Rightarrow U = 0.565 < 1 \text{ ok.}$

Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.848 < 1 \text{ ok.}$

Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

$$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 6.11 \text{ mm}$$

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

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 2 Schraubenreihen:

$$k_3 = 2.51 \text{ mm}, \quad k_4 = 15.77 \text{ mm}, \quad k_5 = 12.26 \text{ mm}, \quad k_{10} = 7.27 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \sum(1/k_{i,1}) = 1.467 \text{ mm}$$

$$k_3 = 2.14 \text{ mm}, \quad k_4 = 13.45 \text{ mm}, \quad k_5 = 10.20 \text{ mm}, \quad k_{10} = 7.27 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \sum(1/k_{i,2}) = 1.286 \text{ mm}$$

$$k_{eq} = \sum(k_{eff,r} \cdot h_r) / z_{eq} = 2.740 \text{ mm}, \quad z_{eq} = \sum(k_{eff,r} \cdot h_r^2) / \sum(k_{eff,r} \cdot h_r) = 450.1 \text{ mm}$$

Rotationssteifigkeit

$$\text{Anfangsrotationssteifigkeit: } S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \sum(1/k_i) = 80492.7 \text{ kNm}, \quad z = z_{eq} = 450.1 \text{ mm}, \quad \sum(1/k_i) = 0.529 \text{ mm}^{-1}$$

$$N_{b,Ed} = N_d \cdot \cos(\alpha) + V_d \cdot \sin(\alpha) = 58.30 \text{ kN}$$

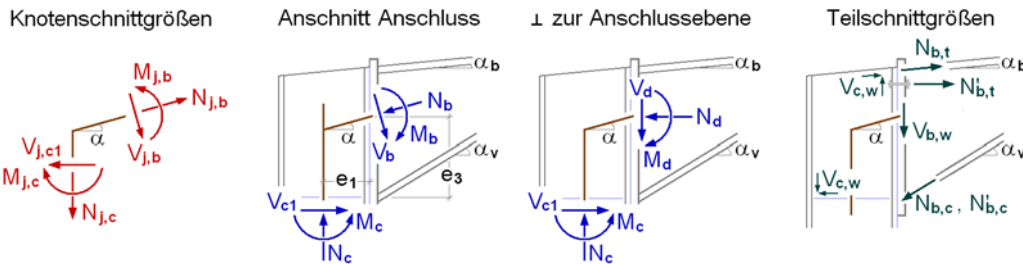
$$|N_{b,Ed}| = 58.30 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 158.52 \text{ kN} \text{ ok.}$$

$$|M_{j,Ed}| = 292.00 \text{ kNm} > 2/3 \cdot M_{j,Rd} = 196.8 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^\Psi = 2.901, \quad \Psi = 2.7$$

$$\text{Rotationssteifigkeit: } S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 27747.1 \text{ kNm}$$

$$\text{Verdrehung: } \varphi_{Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.603^\circ$$

Bemessungsgrößen



Neigungswinkel: $\alpha_b = \alpha_v = \alpha = 5.0^\circ$

Schnittgrößen im Anschluss bezogen auf die Systemachsen

$$N_{b,Ed} = -N_{j,b,Ed} = 3.00 \text{ kN}$$

$$M_{b,Ed} = -M_{j,b,Ed} - V_{j,b,Ed} \cdot e_1 / \cos(\alpha) = -51.15 \text{ kNm}, \quad e_1 = 275.0 \text{ mm}$$

$$V_{b,Ed} = V_{j,b,Ed} = -3.80 \text{ kN}$$

Anschnitt Stütze (unten):

$$N_{c,Ed} = N_{b,Ed} \cdot \sin(\alpha) + V_{b,Ed} \cdot \cos(\alpha) = -3.52 \text{ kN}$$

$$V_{c,Ed} = N_{b,Ed} \cdot \cos(\alpha) - V_{b,Ed} \cdot \sin(\alpha) = 3.32 \text{ kN}$$

$$M_{c,Ed} = M_{b,Ed} - V_{c,Ed} \cdot e_3 + N_{c,Ed} \cdot e_1 = -53.00 \text{ kNm}, \quad e_1 = 275.0 \text{ mm}, \quad e_3 = 265.7 \text{ mm}$$

Schnittgrößen senkrecht zur Anchlussebene

$$N_d = N_{b,Ed} \cdot \cos(\alpha) - V_{b,Ed} \cdot \sin(\alpha) = 3.32 \text{ kN}$$

$$M_d = M_{b,Ed} = -51.15 \text{ kNm}$$

$$V_d = N_{b,Ed} \cdot \sin(\alpha) + V_{b,Ed} \cdot \cos(\alpha) = -3.52 \text{ kN}$$

Negatives Biegemoment $M_d \Rightarrow$ Modell des Anschlusses wird gespiegelt ($\alpha_b = \alpha = -5.0^\circ$)

$$M_d = 51.15 \text{ kNm}, \quad V_d = 3.52 \text{ kN}, \quad M_c = -53.00 \text{ kNm}, \quad N_c = -3.52 \text{ kN}, \quad V_c = 3.32 \text{ kN}$$

Teilschnittgrößen bezogen auf das gespiegelte Modell

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d + N_d \cdot t_{ep} \cdot \tan(\alpha) - V_d \cdot t_{ep} = 51.07 \text{ kNm}$

$$N_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu} / z_b + M'_d / z_b) / \cos(\alpha_b) = 94.19 \text{ kN}, \quad z_b = 534.8 \text{ mm}, \quad z_{bu} = 267.4 \text{ mm}$$

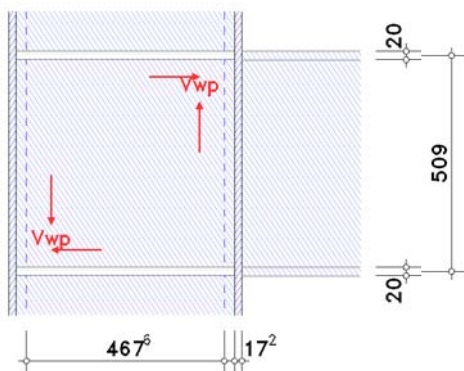
$$N_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo} / z_b + M'_d / z_b) / \cos(\alpha_b) = 97.53 \text{ kN}, \quad z_b = 534.8 \text{ mm}, \quad z_{bo} = 267.4 \text{ mm}$$

Grundkomponenten

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

Grundkomponente 1: Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung

Übertragungsparameter (Tabelle 5.4) $\beta = 1.0$



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

Schlankheit des Stützenstegs $d/t_{wc} = 42.13 < 69 \cdot \epsilon = 69.00 \Rightarrow$ Verfahren anwendbar
plastische Schubtragfähigkeit ohne Steifen $V_{wp,Rd} = (0.9 \cdot f_{y,wc} \cdot A_{vc}) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 883.4 \text{ kN}$

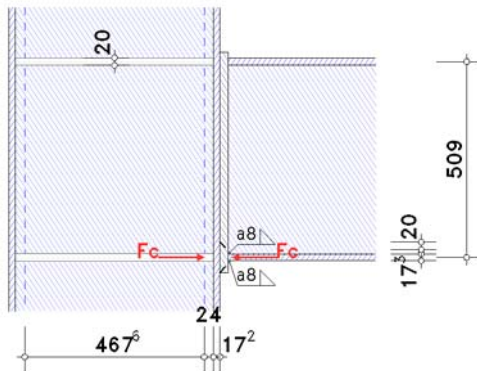
Anordnung von zwischenliegenden Stegsteifen:

$$\text{zusätzliche Tragfähigkeit } V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd} / d_{st} = 28.7 \text{ kN} \leq 2 \cdot (M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,st,Rd}) / d_{st} = 31.9 \text{ kN} \quad \text{ok.}$$

plastische Schubtragfähigkeit mit Quersteifen $V_{wp,Rd} = 912.0 \text{ kN}$

Grundkomponente 2: Stützensteg mit Querdrukbeanspruchung

Übertragungsparameter (Tabelle 5.4) $\beta = 1.0$



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

Verstärkung des Stegs durch Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: $c/t = 4.8 \cdot \epsilon \leq 9 \cdot \epsilon \Rightarrow$ Q-Klasse 1 $\leq$ 2 **ok.**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfeldes (Abstand der Steifen) $a = 509.0$ mm

Steghöhe zwischen den Flanschen $h_{wc} = 515.6$ mm

Trägheitsmoment der Steifen $I_{st} = 1355.45$ cm⁴

Mindestträgheitsmoment für $a/h_{wc} = 0.99 < 2^{1/2}$: $I_{st,min} = 108.52$ cm⁴ $< I_{st}$ **ok.**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen $I_T = 25.33$ cm⁴

polares Trägheitsmoment der Steifen $I_p = 149.23$ cm⁴

$I_T / I_p \approx 0.170 > 0.006 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st}$ **ok.**

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung:

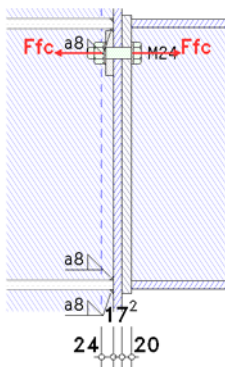
Fläche der Steifen einschl. Steg $A_{st} = 40.22$ cm²

Schlankheitsgrad $\lambda = 0.095$

$\lambda \leq 0.2 \Rightarrow$ keine Abminderung ($\chi = 1.0$)

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken $F_{c,w,Rd} = 859.2$ kN

Grundkomponente 4: Stützenflansch mit Biegung



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

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe maßgebend):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 214.4$ mm, $l_{eff,cp} = 221.5$ mm

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 214.4$ mm

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 3.73$ kNm

Flanschverstärkung: $M_{bp,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_{bp}^2 \cdot f_{y,bp}) / \gamma_{M0} = 2.83$ kNm

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

$L_b = 77.7$ mm ≤ 124.7 mm $= L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs (Verfahren 1)

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd} + 2 \cdot M_{bp,Rd}) / m = 583.67$ kN

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 376.37$ kN

Modus 3: Schraubenversagen

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

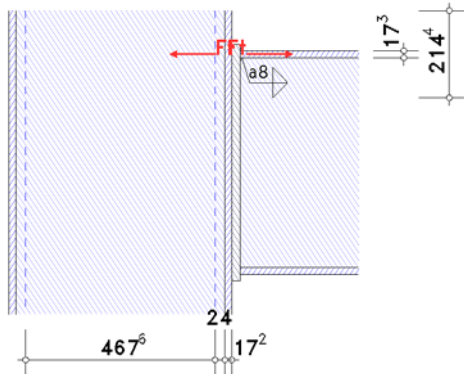
Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 376.37$ kN

Tragfähigkeiten eines Stützenflanschs mit Biegung (je Schraubenreihe)

$F_{c,Rd,1} = 376.4$ kN, zuggeh. $l_{eff} = 214.4$ mm

Grundkomponente 3: Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung

Übertragungsparameter (Tabelle 5.4) $\beta = 1.0$



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

Jede einzelne Schraubenreihe maßgebend:

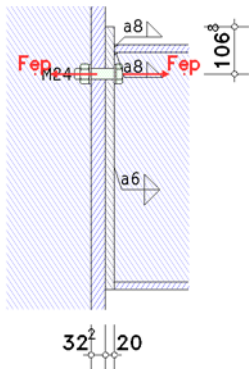
wirksame Breite $b_{eff,t} = 214.4 \text{ mm}$ (Σl_{eff} aus Gk 4)

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.936$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 523.6 \text{ kN}$$

Grundkomponente 5: Stirnblech mit Biegung



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

Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe maßgebend):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 278.6 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 299.5 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 278.6 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 6.55 \text{ kNm}$

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

$L_b = 77.7 \text{ mm} \leq 150.9 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs (Verfahren 1)

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 549.45 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 388.17 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 388.17 \text{ kN}$

Tragfähigkeiten eines Stirnblechs mit Biegung (je Schraubenreihe):

$F_{ep,Rd,1} = 388.2 \text{ kN}$, zugeh. $l_{eff} = 278.6 \text{ mm}$

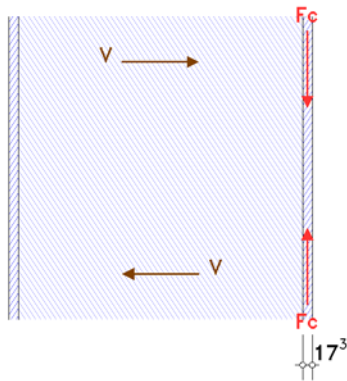
Grundkomponente 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

Flansch unten: Querschnittsklasse für $c/(\varepsilon \cdot t) = 4.37: 1$

Steg: Querschnittsklasse für $\alpha = 0.51$ und $c/(\varepsilon \cdot t) = 42.30: 1$

Querschnittsklasse des Trägers in der Anschlussebene: 1

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion $V_{Ed} = 3.5 \text{ kN}$



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

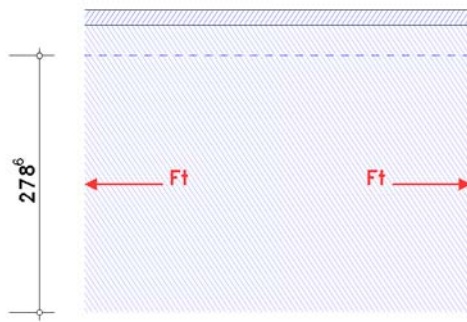
Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 3.5 \text{ kN} \leq 492.5 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss

Biegetragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 642.25 \text{ kNm}$

Tragfähigkeit eines Flanschs und Stegs mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 1200.84 \text{ kN}$$

Grundkomponente 8: Trägersteg mit Zugbeanspruchung



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

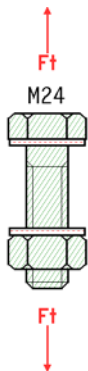
Jede einzelne Schraubenreihe maßgebend:

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 278.6 \text{ mm}$ (Σl_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 726.7 \text{ kN}$$

Grundkomponente 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



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

Schraubenkategorie D:

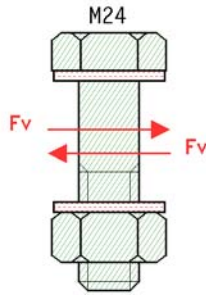
Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 254.16 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$

Durchstanstragfähigkeit: $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 402.44 \text{ kN}$, $t_p = 17.2 \text{ mm}$

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

Grundkomponente 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung

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



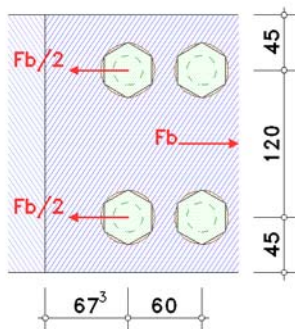
Schraubenkategorie A:

Abschertragfähigkeit je Scherfuge: $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 217.15 \text{ kN}$, $\alpha_v = 0.60$

Abschertragfähigkeit für 2 Schrauben: $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 434.29 \text{ kN}$

Grundkomponente 12: Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung

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



Lochleibungswiderstand: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 154.32 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.52$

Lochleibungstragfähigkeit für 2 Schrauben je Reihe: $\Sigma F_{b,Rd} = 2 \cdot F_{b,Rd} = 308.65 \text{ kN}$

Anschlussstragfähigkeit

Biege-/Zugtragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihe(n) vom Druckpunkt:

$$h_1 = 476.7 \text{ mm}$$

Tragfähigkeiten nach 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 376.4 \text{ kN}$

Abminderungen nach 6.2.7.2(7)

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

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

$$\text{Gk 1: } \Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd} / \beta - \Sigma F_{tr,Rd} = 912.0 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 376.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 376.4 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 2: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 859.2 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 376.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 376.4 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 7: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,fb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 1200.8 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 376.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 376.4 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (endgültig)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 376.4 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 4

Biegetragfähigkeit

$$M_{j,Rd} = \Sigma (F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 179.4 \text{ kNm}$$

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,Rd} = M_{j,Rd} / z_{bu} = 666.5 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = \min F_{c,Rd} / z / z_{bo} = 1973.9 \text{ kN}$$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

Reihe 2: $F_{v,Rd} = 308.6 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 308.6 \text{ kN}$

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

$$\Sigma F_{t,Rd} = 508.3 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 2: } F_{vr,Rd} = f_v \cdot 308.6 \text{ kN} = 308.6 \text{ kN} \quad \text{mit } f_v = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 1.000$$

$$\text{Reihe 3: } F_{vr,Rd} = f_v \cdot 308.6 \text{ kN} = 308.6 \text{ kN} \quad \text{mit } f_v = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 1.000$$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (endgültig)

$$\text{Reihe 2: } F_{vr,Rd} = 308.6 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 3: } F_{vr,Rd} = 308.6 \text{ kN}$$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 617.3 \text{ kN}$$

Schubtragfähigkeit

maßgebende Grundkomponente: 1

$$V_{wp,Rd}/\beta = 912.0 \text{ kN}$$

Gesamt

$$N_{j,Rd} = 666.5 \text{ kN} \quad N_{j,c,Rd} = 1973.9 \text{ kN} \quad M_{j,Rd} = 179.4 \text{ kNm} \quad V_{j,Rd} = 617.3 \text{ kN} \quad V_{wp,Rd}/\beta = 912.0 \text{ kN}$$

Nachweise

Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Normalkraft: $N_{b,Ed} = |N_d \cdot \cos(\alpha) + V_d \cdot \sin(\alpha)| = 3.00 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 158.52 \text{ kN} \Rightarrow$ Biegung ohne Normalkraft

bez. der Trägerachse

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu} = 50.26 \text{ kNm}, \quad z_{bu} = 269.2 \text{ mm}$

Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 3.52 \text{ kN}$

Schubkraft: $V_{wp,Ed} = M_{d,w}/z - V_d/2 = 105.79 \text{ kN}, \quad M_{d,w} = 51.2 \text{ kNm}, \quad z = z_{eq} = 476.7 \text{ mm}$

$$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.280 < 1 \quad \text{ok.}$$

$$V_{wp,Ed}/(V_{wp,Rd}/\beta) = 0.116 < 1 \quad \text{ok.}$$

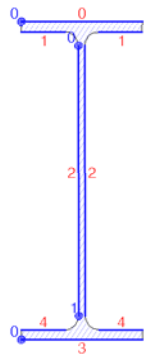
$$V_{Ed}/V_{j,Rd} = 0.006 < 1 \quad \text{ok.}$$

Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 0: Trägerflansch mit Zug außen Naht 1: Trägerflansch mit Zug innen

Naht 2: Trägersteg beidseitig

Naht 3: Trägerflansch mit Druck außen Naht 4: Trägerflansch mit Druck innen



Naht 0: $a_w = 8.0 \text{ mm} \quad l_w = 210.0 \text{ mm}$

Naht 1: $a_w = 8.0 \text{ mm} \quad l_w = 150.9 \text{ mm}$

Naht 2: $a_w = 6.0 \text{ mm} \quad l_w = 939.1 \text{ mm}$

Naht 3: $a_w = 8.0 \text{ mm} \quad l_w = 210.0 \text{ mm}$

Naht 4: $a_w = 8.0 \text{ mm} \quad l_w = 150.9 \text{ mm}$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$$A_{w,z} = 56.35 \text{ cm}^2, \quad A_w = 114.09 \text{ cm}^2$$

$$I_{w,y} = 52127.42 \text{ cm}^4, \quad z_w = 276.1 \text{ mm}$$

Spannungen in den Eckpunkten des Linienquerschnitts:

Naht 0, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 26.80 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 0.00 \text{ N/mm}^2$

Naht 2, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 22.75 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 0.63 \text{ N/mm}^2$

Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -23.33 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 0.63 \text{ N/mm}^2$

Naht 3, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -27.38 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 0.00 \text{ N/mm}^2$

Nachweise in den Eckpunkten des Linienquerschnitts:

Naht 0, Pkt. 0: $\sigma_s = 1.89 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_s = 1.89 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_p = 0.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.105 < 1 \quad \text{ok.}$

Naht 2, Pkt. 0: $\sigma_s = 1.61 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_s = 1.61 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_p = 0.06 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.089 < 1 \quad \text{ok.}$

Pkt. 1: $\sigma_s = -1.65 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_s = -1.65 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_p = 0.06 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.092 < 1 \quad \text{ok.}$

Naht 3, Pkt. 0: $\sigma_s = -1.94 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_s = -1.94 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_p = 0.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.108 < 1 \quad \text{ok.}$

Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.280 < 1$ **ok.**

Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

$$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 5.77 \text{ mm}$$

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

$$k_3 = 0.7 \cdot b_{\text{eff},t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 3.56 \text{ mm}, \quad b_{\text{eff},t,wc} = 214.4 \text{ mm}$$

$$k_4 = 0.9 \cdot I_{\text{eff}} \cdot t_{tc}^3 / m^3 = 22.42 \text{ mm}, \quad \min I_{\text{eff}} = 214.4 \text{ mm}, \quad m = 35.2 \text{ mm}$$

$$k_5 = 0.9 \cdot I_{\text{eff}} \cdot t_p^3 / m^3 = 18.53 \text{ mm}, \quad \min I_{\text{eff}} = 278.6 \text{ mm}, \quad m = 47.7 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 7.27 \text{ mm}, \quad L_b = 77.7 \text{ mm}$$

Rotationssteifigkeit

$$\text{Anfangsrotationssteifigkeit: } S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \sum (1/k_i) = 69127.4 \text{ kNm}, \quad z = z_{eq} = 476.7 \text{ mm}, \quad \sum (1/k_i) = 0.690 \text{ mm}^{-1}$$

$$N_{b,Ed} = N_d \cdot \cos(\alpha) + V_d \cdot \sin(\alpha) = 3.00 \text{ kN}$$

$$|N_{b,Ed}| = 3.00 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 158.52 \text{ kN} \text{ **ok.**}$$

$$|M_{j,Ed}| = 52.20 \text{ kNm} \leq 2/3 M_{j,Rd} = 119.6 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = 1$$

$$\text{Rotationssteifigkeit: } S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 69127.4 \text{ kNm}$$

$$\text{Verdrehung: } \varphi_{Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.043^\circ$$

Lk 3: Ek 2 (rechte Rahmenecke)

Reduzierte Ausgabe, Rechenwege siehe Lk 1

Bemessungsgrößen

$$N_d = N_{b,Ed} \cdot \cos(\alpha) - V_{b,Ed} \cdot \sin(\alpha) = 50.57 \text{ kN}$$

$$M_d = M_{b,Ed} = 249.40 \text{ kNm}$$

$$V_d = N_{b,Ed} \cdot \sin(\alpha) + V_{b,Ed} \cdot \cos(\alpha) = 121.87 \text{ kN}$$

$$N_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu} / z_b + M'_d / z_b) / \cos(\alpha_b) = 438.31 \text{ kN}$$

$$N_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo} / z_b + M'_d / z_b) / \cos(\alpha_b) = 489.07 \text{ kN}$$

Anschlussstragfähigkeit

Biege-/Zugtragfähigkeit

Biegetragfähigkeit

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 295.2 \text{ kNm}$$

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,Rd} = M_{j,Rd} / z_{bu} = 1111.3 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = \min F_{c,Rd} \cdot z / z_{bo} = 2096.7 \text{ kN}$$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$$\text{Reihe 3: } F_{vr,Rd} = 356.7 \text{ kN}$$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$$V_{j,Rd} = \sum F_{vr,Rd} = 356.7 \text{ kN}$$

Schubtragfähigkeit

$$V_{wp,Rd} / \beta = 912.0 \text{ kN}$$

Gesamt

$$N_{j,Rd} = 1111.3 \text{ kN} \quad N_{j,c,Rd} = 2096.7 \text{ kN} \quad M_{j,Rd} = 295.2 \text{ kNm} \quad V_{j,Rd} = 356.7 \text{ kN} \quad V_{wp,Rd} / \beta = 912.0 \text{ kN}$$

Nachweise

Nachweis der Anschlussstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

$$N_{b,Ed} = 61.00 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd}$$

$$\text{Biegemoment: } M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu} = 235.97 \text{ kNm}$$

$$\text{Querkraft: } V_{Ed} = |V_d| = 121.87 \text{ kN}$$

$$\text{Schubkraft: } V_{wp,Ed} = 533.25 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} / M_{j,Rd} = 0.799 < 1 \text{ **ok.**}$$

$$V_{wp,Ed} / (V_{wp,Rd} / \beta) = 0.585 < 1 \text{ **ok.**}$$

$$V_{Ed} / V_{j,Rd} = 0.342 < 1 \text{ **ok.**}$$

Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

$$\text{Naht 0, Pkt. 0: } \sigma_s = 9.03 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_s = 9.03 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_p = 0.00 \text{ kN/cm}^2 \quad \Rightarrow U = 0.501 < 1 \text{ **ok.**}$$

$$\text{Naht 2, Pkt. 0: } \sigma_s = 7.63 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_s = 7.63 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_p = 2.16 \text{ kN/cm}^2 \quad \Rightarrow U = 0.436 < 1 \text{ **ok.**}$$

$$\text{Pkt. 1: } \sigma_s = -8.26 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_s = -8.26 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_p = 2.16 \text{ kN/cm}^2 \quad \Rightarrow U = 0.470 < 1 \text{ **ok.**}$$

$$\text{Naht 3, Pkt. 0: } \sigma_s = -9.65 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_s = -9.65 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_p = 0.00 \text{ kN/cm}^2 \quad \Rightarrow U = 0.536 < 1 \text{ **ok.**}$$

Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.799 < 1$ **ok.**

Rotationssteifigkeit

Anfangsrotationssteifigkeit: $S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 80492.7 \text{ kNm}$, $\Sigma(1/k_i) = 0.529 \text{ mm}^{-1}$

$|N_{b,Ed}| = 61.00 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 158.52 \text{ kN}$ **ok.**

$|M_{j,Ed}| = 281.70 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,Rd} = 196.8 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^\Psi = 2.633$, $\Psi = 2.7$

Rotationssteifigkeit: $S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 30572.3 \text{ kNm}$

Verdrehung: $\varphi_{Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.528^\circ$

Endergebnis

Maximale Ausnutzung [Lk 1]: $\max U = 0.848 < 1$ **ok.**

Minimale Rotationssteifigkeit [Lk 1]: $\min S_j = 27747.1 \text{ kNm}$

Maximale Verdrehung [Lk 1]: $\max \varphi_{Ed} = 0.603^\circ$

Nachweis erbracht