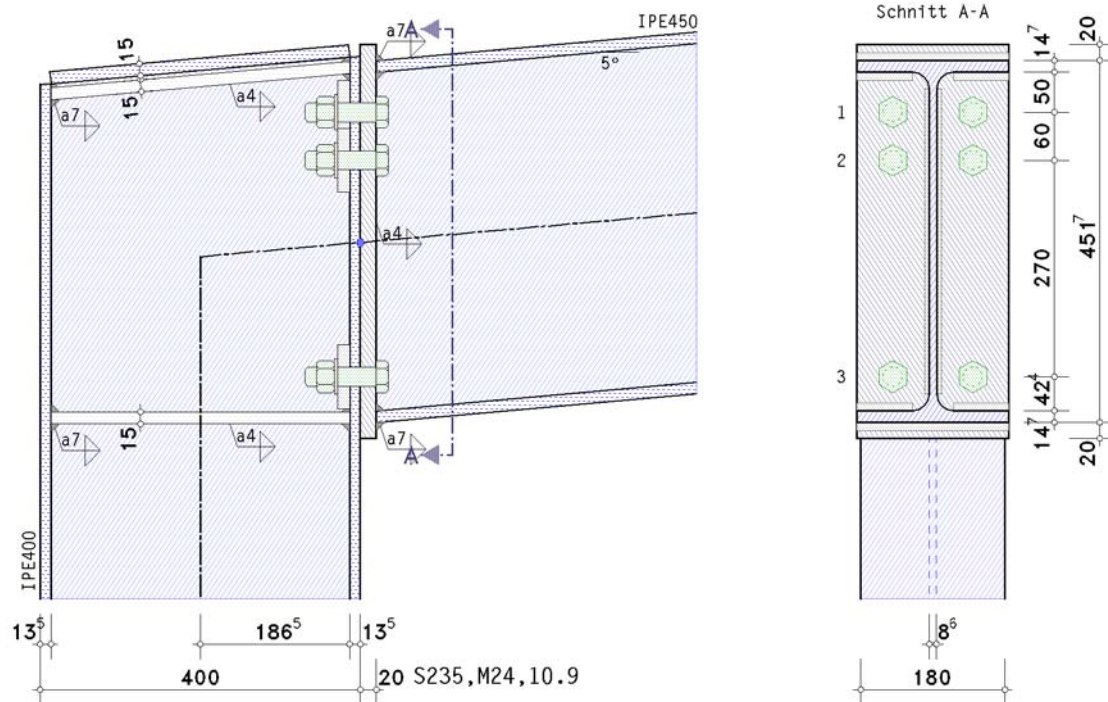


POS. 2: WAGENKNECHT BD.3 4.6.5

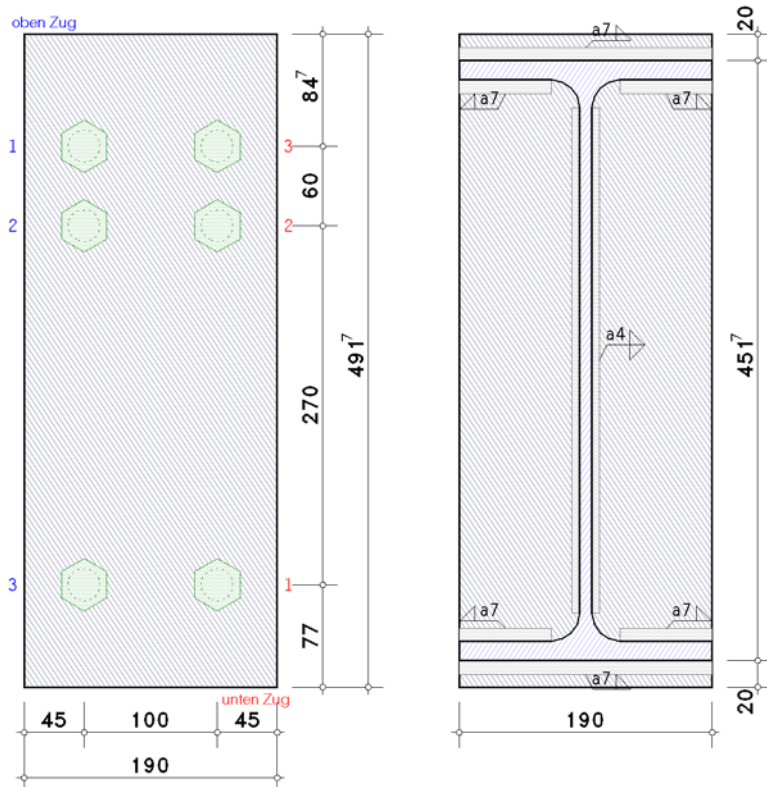
Rahmenecke EC 3-1-8 (04.25), NA: Deutschland

4H-EC3RE Version: 2/2020-2q

1. Eingabeprotokoll



Details (Schnitt A - A)



Stahlsorte

Stahlgüte S235

Parameter der Stütze

Profil IPE400

Verstärkung des Profils durch Quersteifen (Stegsteifen in Höhe von Trägerzug- und -druckflansch, $d_{st} = 435.7$ mm):

Dicke $t_{st} = 15.0$ mm, Breite $b_{st} = 85.7$ mm, Länge $l_{st} = 373.0$ mm

Aussparung an den Steifen $c_{st} = 31.5$ mm

Schweißnähte $a_{st,f} = 7.0$ mm, $a_{st,w} = 4.0$ mm

Kopfplatte $t_k = 15.0$ mm (statisch nicht wirksam)

Schrauben



Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M24, normale Schlüsselweite

Schaft in der Scherfuge

Futterblech (Flanschverstärkung): Dicke $t_{bp} = 15.0$ mm, Breite $b_{bp} = 80.0$ mm, Länge $l_{bp} = 80.0$ mm

Parameter des Trägers

Profil IPE450

Neigungswinkel des Profils gegen die Horizontale $\alpha_b = 5.00^\circ \Rightarrow$ Profilhöhe im Anschluss $h_b = h/\cos(\alpha_b) = 451.7$ mm

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss

Dicke $t_p = 20.0$ mm, Breite $b_p = 190.0$ mm, Länge $l_p = 491.7$ mm

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

Schrauben im Anschluss:

3 Schraubenreihen mit je 2 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)

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

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 84.7$ mm

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 77.0$ mm

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum freien Rand der Stütze (Endreihe) $e_1' = 84.7$ mm

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 60.0$ mm, $p_{2-3} = 270.0$ mm

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 7.0$ mm, Öffnungswinkel $\varphi = 85^\circ$

Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 4.0$ mm

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 7.0$ mm, Öffnungswinkel $\varphi = 95^\circ$

Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung bezogen auf die Systemachsen

Lk 1: $N_{b,Ed} = 57.30$ kN $M_{b,Ed} = 250.00$ kNm $V_{b,Ed} = 77.00$ kN

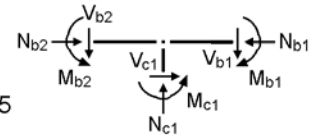
Materialsicherheitsbeiwerte

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

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

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

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



Hinweise

Die Querschnittsprofile werden nicht nachgewiesen.

Die lokale Schweißnahttragfähigkeit wird nicht berücksichtigt.

Stegsteifen werden nicht nachgewiesen.

Platten- und Schubbeulen wird nicht untersucht.

Die Kopfplatte ist statisch nicht wirksam.

Die lokale Schubtragfähigkeit des Stirnblechs wird nicht berücksichtigt.

Datencheck

ok

Schraubenabstände am Stirnblech

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

horizontal: $p_2 = 100.0$ mm $> 2.4 \cdot d_o = 62.4$ mm,

oben-unten: $e_1 = 84.7$ mm $> 1.2 \cdot d_o = 31.2$ mm,

oben-unten: $e_1 = 84.7$ mm $> 1.2 \cdot d_o = 31.2$ mm,

oben-unten: $p_1 = 60.0$ mm $> 2.2 \cdot d_o = 57.2$ mm,

oben-unten: $p_1 = 270.0$ mm $> 2.2 \cdot d_o = 57.2$ mm,

oben-unten: $e_1 = 77.0$ mm $> 1.2 \cdot d_o = 31.2$ mm,

Schraubenabstand vom Stützenrand

horizontal: $e_2 = 40.0$ mm $> 1.2 \cdot d_o = 31.2$ mm,

$e_2 = 45.0$ mm $< 4 \cdot t + 40$ mm $= 94.0$ mm

$p_2 = 100.0$ mm $< \min(14 \cdot t, 200$ mm $) = 189.0$ mm

$e_1 = 84.7$ mm $< 4 \cdot t + 40$ mm $= 94.0$ mm

$e_1 = 84.7$ mm $< 4 \cdot t + 40$ mm $= 94.0$ mm

$p_1 = 60.0$ mm $< \min(14 \cdot t, 200$ mm $) = 189.0$ mm

$p_1 = 270.0$ mm $> \min(14 \cdot t, 200$ mm $) = 189.0$ mm !!

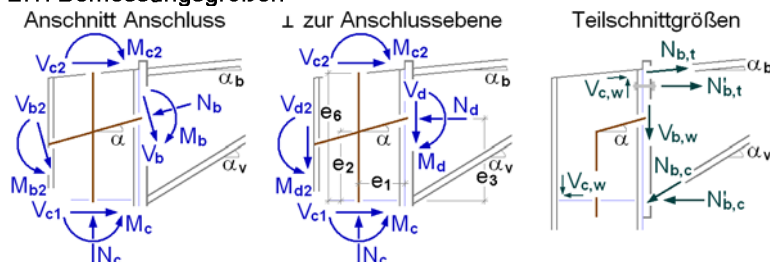
$e_1 = 77.0$ mm $< 4 \cdot t + 40$ mm $= 94.0$ mm

$e_2 = 40.0$ mm $< 4 \cdot t + 40$ mm $= 94.0$ mm

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

2. Lk 1

2.1. Bemessungsgrößen



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

Abstände: $e_1 = 200.0$ mm, $e_3 = 218.5$ mm, $e_2 = 201.0$ mm, $e_6 = 435.7$ mm

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger

$N_d = 50.37 \text{ kN}$, $M_d = 250.00 \text{ kNm}$, $V_d = 81.70 \text{ kN}$

Anschnitt Stütze (unten, berechnet)

$N_c = 81.70 \text{ kN}$, $M_c = 255.33 \text{ kNm}$, $V_c = 50.37 \text{ kN}$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d + N_d \cdot t_p \cdot \tan(\alpha) - V_d \cdot t_p = 248.45 \text{ kNm}$

$N_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b) / \cos(\alpha_b) = 545.35 \text{ kN}$, $z_b = 437.1 \text{ mm}$, $z_{bu} = 218.5 \text{ mm}$

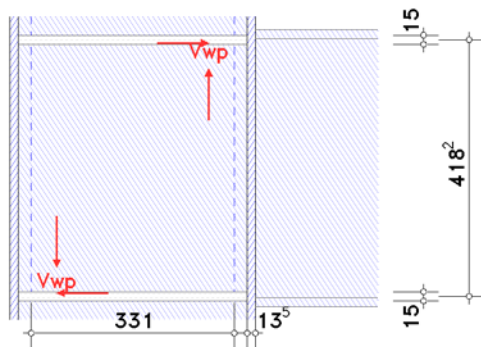
$N_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b) / \cos(\alpha_b) = 595.92 \text{ kN}$, $z_b = 437.1 \text{ mm}$, $z_{bo} = 218.5 \text{ mm}$

$V_{b,t} = -N_{b,t} \cdot \sin(\alpha_b) = -47.53 \text{ kN}$, $V_{b,c} = N_{b,c} \cdot \sin(\alpha_b) = 51.94 \text{ kN}$, $V_{b,w} = V_d - V_{b,t} - V_{b,c} = 77.29 \text{ kN}$

2.2. Grundkomponenten

2.2.1. Gk 1: Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 7.2.3(4)) $\beta_j = 1.00 \leq 2$ für $M_{j1} = 250.00 \text{ kNm}$ ($M_{j2} = 0$)



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

Schlankheit des Stützenstegs $h_{wc}/t_{wc} = 43.37 < 72 \cdot \varepsilon/\eta = 60.00 \Rightarrow$ Verfahren anwendbar

plastische Schubtragfähigkeit ohne Stegsteifen $V_{wp,Rd} = (0.9 \cdot f_{y,w} \cdot A_{wp}) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 420.06 \text{ kN}$

Beitrag des Stützenflanschs:

zusätzliche Tragfähigkeit $V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd}/z_{wp} = 20.3 \text{ kN}$, $z_{wp} = h_r = 379.7 \text{ mm}$

plastische Schubtragfähigkeit zzgl. Beitrag des Stützenflanschs $V_{wp,Rd} = 440.4 \text{ kN}$

Anordnung von zwischenliegenden Stegsteifen:

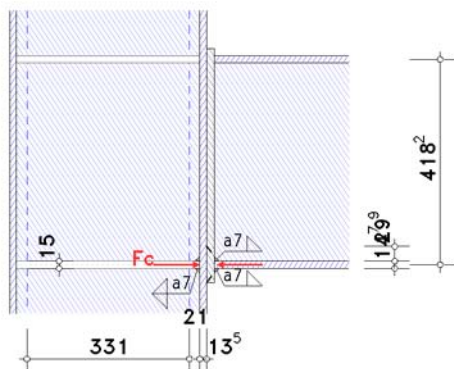
zusätzliche Tragfähigkeit $V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd}/h_r + 2 \cdot M_{pl,st,Rd}/h_r = 20.30 \text{ kN}$

plastische Schubtragfähigkeit mit Quersteifen $V_{wp,Rd} = 460.66 \text{ kN}$

2.2.2. Gk 2: Stützensteg mit Querdrukbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 7.2.3(4)) $\beta_j = 1.00 \leq 2$ für $M_{j1} = 250.00 \text{ kNm}$ ($M_{j2} = 0$)

Längsdruckspannung im Stützensteg $\sigma_{com,Ed} = 192.39 \text{ N/mm}^2$



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

wirksame Breite des Stegs für Querdruk $b_{eff,c} = t_{fb} + 2 \cdot 2^{1/2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{fc} + s_c) + s_p = 237.1 \text{ mm}$

Abminderungsbeiwert $k_w = 1.7 \cdot \sigma_{com,Ed}/f_{y,w} = 0.881$

Plattenschlankheitsgrad $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{eff,c} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 1.016$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen $\rho = (\lambda_p - 0.22) / \lambda_p^2 = 0.771$ für $\lambda_p > 0.673$

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.829$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung:

$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 349.88 \text{ kN}$

$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 245.35 \text{ kN}$ (maßgebend)

Verstärkung des Stegs durch zwischenliegende Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: Q-Klasse 1, Q-Klasse $1 \leq 3$ ok

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfelds (Abstand der Steifen) $a = 418.2 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen $h_{wc} = 373.0 \text{ mm}$

Trägheitsmoment der Steifen $I_{st} = 729.00 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für $a/h_{wc} = 1.12 < 2^{1/2}$: $I_{st,min} = 28.31 \text{ cm}^4 < I_{st}$ ok

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen $I_T = 9.64 \text{ cm}^4$

polares Trägheitsmoment der Steifen $I_p = 81.09 \text{ cm}^4$

$$I_T / I_P \approx 0.119 > 0.006 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st} \quad \text{ok}$$

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung:

Fläche der Steifen einschl. Steg $A_{st} = 27.00 \text{ cm}^2$

Schlankheitsgrad $\lambda = 0.076$

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

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken $F_{c,w,Rd} = 576.8 \text{ kN}$

Maximale Tragfähigkeit:

$F_{c,w,Rd} = 576.8 \text{ kN}$ (Tragfähigkeit mit Quersteifen)

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

wirksame Breite des Stegs für Querdruk $b_{eff,c} = t_{fb} + 2 \cdot 2^{1/2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{fc} + s_c) + s_p = 237.1 \text{ mm}$

Abminderungsbeiwert $k_w = 1.7 \cdot \sigma_{com,Ed} / f_{y,w} = 0.881$

Plattenschlankheitsgrad $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{eff,c} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 1.016$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen $\rho = (\lambda_p - 0.22) / \lambda_p^2 = 0.771$ für $\lambda_p > 0.673$

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.829$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung:

$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 349.88 \text{ kN}$

$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 245.35 \text{ kN}$ (maßgebend)

Verstärkung des Stegs durch zwischenliegende Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: Q-Klasse 1, Q-Klasse 1 ≤ 3 ok

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfelds (Abstand der Steifen) $a = 418.2 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen $h_{wc} = 373.0 \text{ mm}$

Trägheitsmoment der Steifen $I_{st} = 729.00 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für $a/h_{wc} = 1.12 < 2^{1/2}$: $I_{st,min} = 28.31 \text{ cm}^4 < I_{st}$ ok

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen $I_T = 9.64 \text{ cm}^4$

polares Trägheitsmoment der Steifen $I_P = 81.09 \text{ cm}^4$

$$I_T / I_P \approx 0.119 > 0.006 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st} \quad \text{ok}$$

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung:

Fläche der Steifen einschl. Steg $A_{st} = 27.00 \text{ cm}^2$

Schlankheitsgrad $\lambda = 0.076$

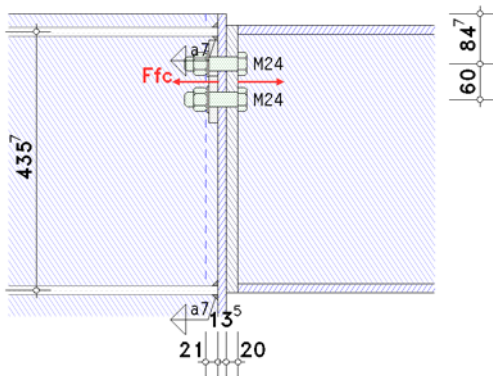
$\lambda \leq 0.2 \Rightarrow$ keine Abminderung ($\chi = 1.0$)

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken $F_{c,w,Rd} = 576.8 \text{ kN}$

Maximale Tragfähigkeit:

$F_{c,w,Rd} = 576.8 \text{ kN}$ (Tragfähigkeit mit Quersteifen)

2.2.3. Gk 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):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 1

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 170.3 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 181.6 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 170.3 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 1.82 \text{ kNm}$

Flanschverstärkung: $M_{bp,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_{bp}^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 2.25 \text{ kNm}$

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

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

$L_b = 71.2 \text{ mm} \leq 178.7 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd} + 4 \cdot n \cdot M_{bp,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 591.56 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 338.08 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 338.08 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 165.6 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 181.6 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 165.6 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 1.77 \text{ kNm}$

Flanschverstärkung: $M_{bp,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_{bp}^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 2.19 \text{ kNm}$

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

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

$L_b = 71.2 \text{ mm} \leq 183.8 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd} + 4 \cdot n \cdot M_{bp,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 575.29 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 336.54 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 336.54 \text{ kN}$

Tragfähigkeiten und effektive Längen eines Stützenflanschs mit Biegung (je Schraubenreihe)

$F_{t,fc,Rd,1} = 338.08 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 170.3 \text{ mm}$

$F_{t,fc,Rd,2} = 336.54 \text{ kN}$, $l_{eff,2} = 165.6 \text{ mm}$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Gruppe von Schraubenreihen):

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

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 230.3 \text{ mm}$, $\Sigma l_{eff,cp} = 301.6 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 230.3 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

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

Flanschverstärkung: $M_{bp,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_{bp}^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 3.04 \text{ kNm}$

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

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 1015.20 \text{ kN}$

$L_b = 71.2 \text{ mm} \leq 264.3 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd} + 4 \cdot n \cdot M_{bp,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 800.00 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 639.84 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 1015.20 \text{ kN}$

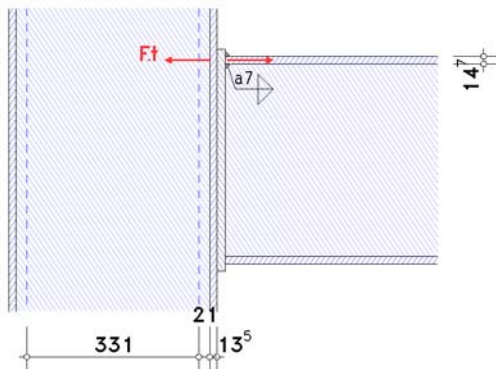
Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 639.84 \text{ kN}$

effektive Länge: $\Sigma l_{eff} = 230.3 \text{ mm}$, 2 Reihen

2.2.4. Gk 3: Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 7.2.3(4)) $\beta_j = 1.00 \leq 2$ für $M_{j1} = 250.00 \text{ kNm}$ ($M_{j2} = 0$)

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



Für jede einzelne Schraubenreihe:

Reihe 1

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.900$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 309.60 \text{ kN}$, $b_{eff,t,wc} = 170.3 \text{ mm}$

Reihe 2

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.904$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 302.65 \text{ kN}$, $b_{eff,t,wc} = 165.6 \text{ mm}$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug (je Schraubenreihe)

$F_{t,wc,Rd,1} = 309.60 \text{ kN}$, $b_{eff,t,wc} = 170.3 \text{ mm}$ (s. Gk 4)

$F_{t,wc,Rd,2} = 302.65 \text{ kN}$, $b_{eff,t,wc} = 165.6 \text{ mm}$ (s. Gk 4)

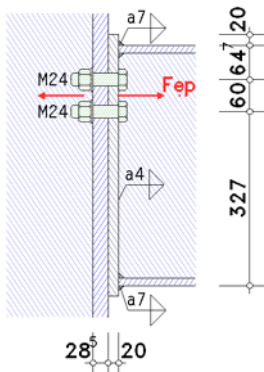
Für eine Gruppe von Schraubenreihen:

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.836$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 389.07 \text{ kN}$, $b_{eff,t,wc} = 230.3 \text{ mm}$

2.2.5. Gk 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):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 1

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 236.6 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 256.2 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 236.6 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.56 \text{ kNm}$

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

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

$L_b = 71.2 \text{ mm} \leq 111.1 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 698.20 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 389.06 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 389.06 \text{ kN}$

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

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 481.90 \text{ kN}$ ($\geq 389.06 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 219.3 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 256.2 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 219.3 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.15 \text{ kNm}$

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

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

$L_b = 71.2 \text{ mm} \leq 119.8 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 647.20 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 379.00 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 379.00 \text{ kN}$

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

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 446.70 \text{ kN}$ ($\geq 379.00 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

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

$F_{cp,Rd,1} = 389.06 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 236.6 \text{ mm}$

$F_{cp,Rd,2} = 379.00 \text{ kN}$, $l_{eff,2} = 219.3 \text{ mm}$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Gruppe von Schraubenreihen):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 2$ ($R1+R2$)

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 217.0 \text{ mm}$, $\Sigma l_{eff,cp} = 308.1 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 217.0 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.10 \text{ kNm}$

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

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 1015.20 \text{ kN}$

$L_b = 71.2 \text{ mm} \leq 242.3 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 640.15 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 628.97 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 1015.20 \text{ kN}$$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 628.97 \text{ kN}$

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

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 441.83 \text{ kN}$

Gesamtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = F_{T,w,Rd} = 441.83 \text{ kN} !!$

effektive Länge: $\Sigma l_{eff} = 217.0 \text{ mm}$, 2 Reihen

2.2.6. Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

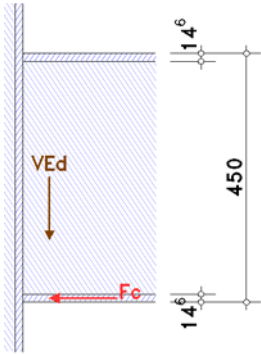
Flansch unten: Q-Klasse 1

Steg: Q-Klasse 1

Gesamt: Q-Klasse 1

Querschnittsklasse des Trägers: 1

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion $V_{Ed} = 77.0 \text{ kN}$



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

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 77.0 \text{ kN} \leq 344.9 \text{ kN} = 0.5 \cdot V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 399.88 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 1701.60 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs und Stegs mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 918.41 \text{ kN}$$

bezogen auf die Betrachtungsebene $F_{c,f,Rd} \cdot \cos(\alpha_b) = 914.92 \text{ kN}$

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 77.0 \text{ kN} \leq 344.9 \text{ kN} = 0.5 \cdot V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss

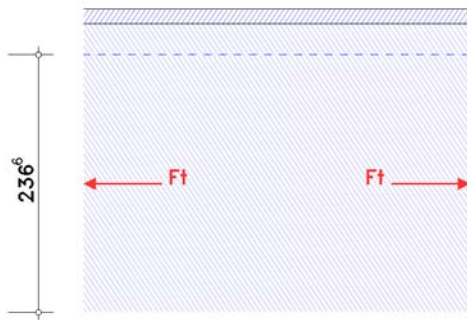
Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 399.88 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 1701.60 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs und Stegs mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 918.41 \text{ kN}$$

bezogen auf die Betrachtungsebene $F_{c,f,Rd} \cdot \cos(\alpha_b) = 914.92 \text{ kN}$

2.2.7. 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 1

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 236.6 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 522.72 \text{ kN}$$

Reihe 2

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 219.3 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 484.54 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zug (je Schraubenreihe)

$F_{t,wb,Rd,1} = 522.72 \text{ kN}$, $b_{eff,t,wb} = 236.6 \text{ mm}$ (s. Gk 5)

$F_{t,wb,Rd,2} = 484.54 \text{ kN}$, $b_{eff,t,wb} = 219.3 \text{ mm}$ (s. Gk 5)

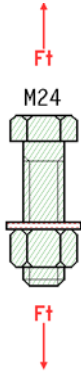
Für eine Gruppe von Schraubenreihen maßgebend:

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 217.0 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 479.26 \text{ kN}$$

2.2.8. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



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

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

Durchstantragfähigkeit einer Schraube $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 276.84 \text{ kN}$, $t_p = 13.5 \text{ mm}$

Zug-/Durchstantragfähigkeit für 2 Schrauben: $\Sigma F_{tp,Rd} = 2 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 507.60 \text{ kN}$

2.3. Anschlusstragfähigkeit

Übertragungsparameter: $\beta_j = 1.00$

2.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 379.7 \text{ mm}$, $h_2 = 319.7 \text{ mm}$

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

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 309.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 302.7 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, B.3.2.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stütze)

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 309.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 79.5 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, B.3.2.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stirnblech)

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 309.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 79.5 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 309.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 79.5 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 389.1 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 309.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 79.5 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 309.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 79.5 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 309.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 79.5 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd} = 389.1 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 3

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$\Sigma F_{c,Rd}^* = 921.3 \text{ kN}$

Biegetragfähigkeit

$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 143.0 \text{ kNm}$

Zugtragfähigkeit

$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 389.1 \text{ kN}$

Drucktragfähigkeit

$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 921.3 \text{ kN}$

2.3.2. Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

$$V_{wp,Rd} = 460.66 \text{ kN}$$

2.3.3. Gesamt

$$M_{j,Rd} = 143.0 \text{ kNm} \quad N_{j,t,Rd} = 389.1 \text{ kN} \quad N_{j,c,Rd} = 921.3 \text{ kN} \quad V_{wp,Rd} = 460.7 \text{ kN}$$

2.4. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 2 Zug-Schraubenreihen:

$$1: k_3 = 3.10 \text{ mm}, k_4 = 15.62 \text{ mm}, k_5 = 25.13 \text{ mm}, k_{10} = 7.93 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 1.809 \text{ mm}$$

$$2: k_3 = 3.01 \text{ mm}, k_4 = 15.19 \text{ mm}, k_5 = 23.30 \text{ mm}, k_{10} = 7.93 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 1.764 \text{ mm}$$

$$\text{äquivalenter innerer Hebelarm } z_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) = 352.64 \text{ mm}$$

$$\text{äquivalenter Steifigkeitskoeffizient } k_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) / z_{eq} = 3.547 \text{ mm}$$

$$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 4.60 \text{ mm}$$

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

Rotationssteifigkeit

$$\text{Anfangsrotationssteifigkeit: } S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 52300.5 \text{ kNm/rad}, z = z_{eq} = 352.6 \text{ mm}, \Sigma(1/k_i) = 0.499 \text{ mm}^{-1}$$

$$|M_{j,Ed}| = 239.08 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,Rd} = 95.30 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^\Psi = 11.980, \Psi = 2.7$$

$$\text{Rotationssteifigkeit: } S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 4365.6 \text{ kNm/rad}$$

$$\text{Verdrehung: } \varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 3.138^\circ$$

3. Vorschriften

EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung;

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

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

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

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

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

EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-1, Ausgabe April 2026

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

Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2024, Ausgabe April 2025

EN 1993-1-8/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-8, Ausgabe April 2026

EN 1993-1-5, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile;

Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019, Ausgabe Oktober 2019

EN 1993-1-5/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-5, Ausgabe Dezember 2010