

POS. 15: 2 SCHRAUBEN (TRÄGER-STÜTZE) (1 LK)

Typisierter IM-Anschluss

Momententragfähiger IM-Anschluss nach EC 3-1-8 (12.10), NA: Deutschland

Die Abmessungen des Trägers, der Schrauben, der Stirnplatte und der Schweißnähte, das Material sowie die Anordnung der Schrauben sind der folgenden Literatur entnommen:

'Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach DIN EN 1993-1-8, Ergänzungsband 2018, Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Ausgabe 2018'

Hierzu sind die laufende Nr. sowie die zugehörigen Parameter protokolliert.

Die Stütze ist unabhängig von der Literatur gewählt, die Stegsteifen sind durchlaufend ausgeführt.

Die MN-Interaktion erfolgt nach Cerfontaine (in Jaspart/Weynand: Design of Joints in Steel Structures).

Träger-Stützenverbindung, Stahlgüte S235, Festigkeitsklasse der Schrauben 10.9

10760: Trägerprofil HEA240, Schraubengröße M24, Anschluss mit 2 Schrauben je Reihe

Stirnplatte: $t_p = 30$ mm, $b_p = 240$ mm, $h_p = 440$ mm, $e_1 = 55$ mm, $p_{1,1} = 110$ mm, $p_{1,2} = 110$ mm
 $p_{1,3} = 110$ mm, $u_1 = 105$ mm, $w = 130$ mm

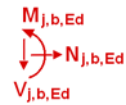
Kehlnähte: $a_r = 6$ mm, $a_w = 4$ mm

Stütze: Profil HE280A

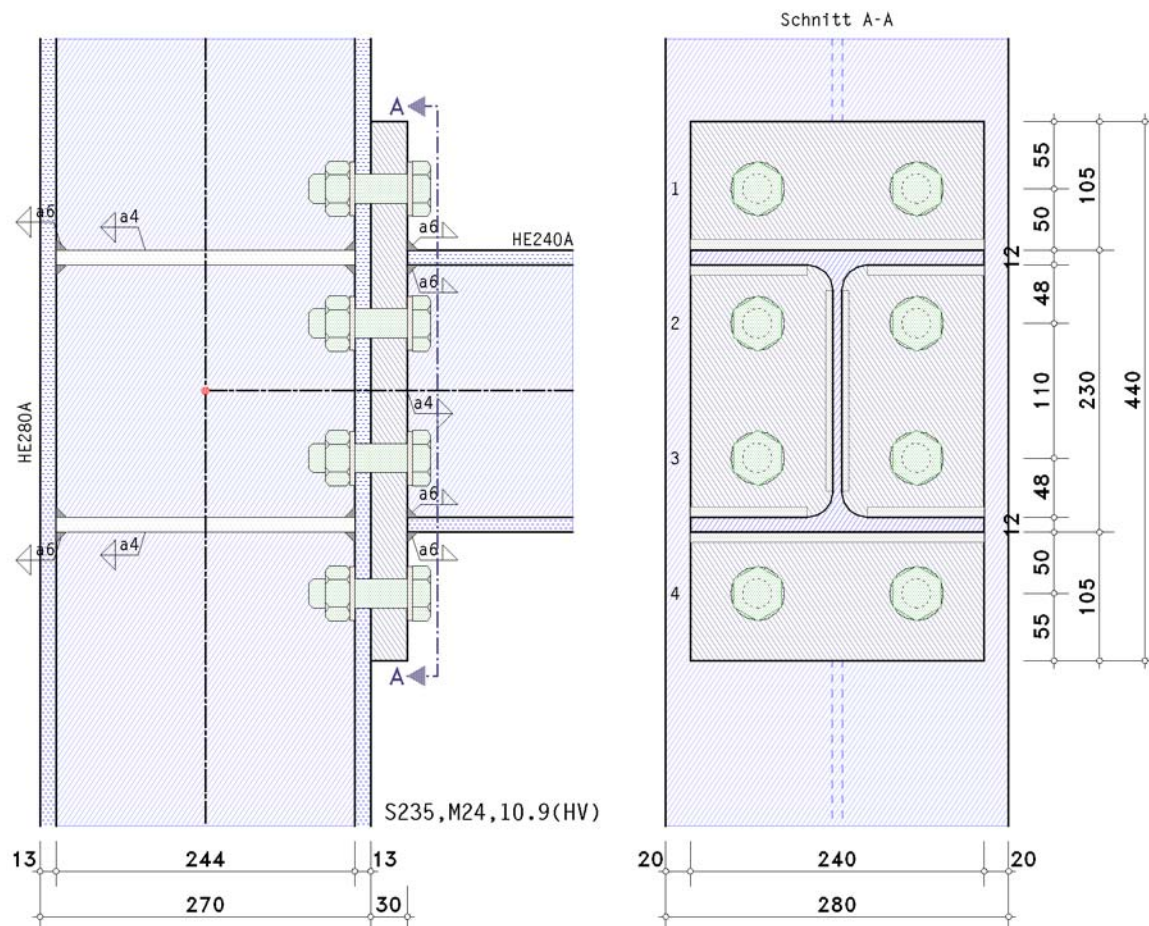
horizontale Stegsteifen

Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen:

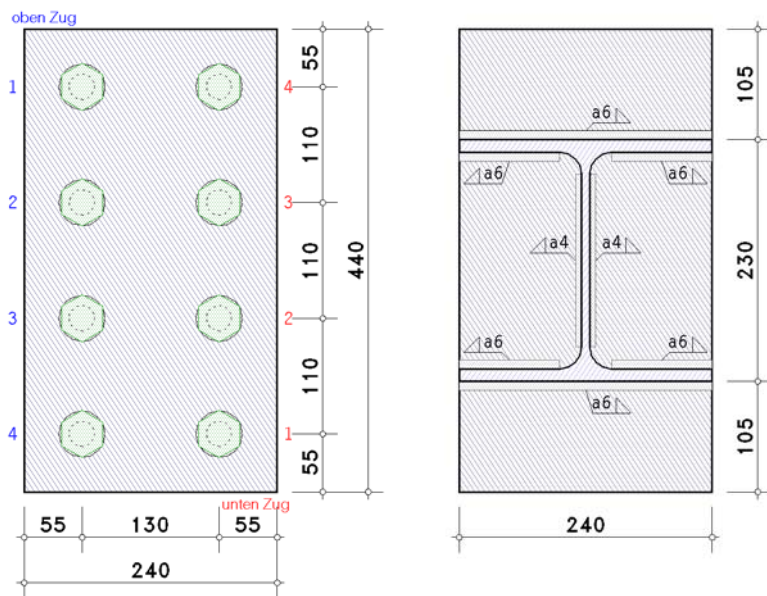
Lk 1: $M_{j,b,Ed} = -102.02$ kNm $V_{j,b,Ed} = 84.67$ kN



Biegesteifer Trägeranschluss



Details



Komponentenmethode

Hinweise

Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkräfte. Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden. Die Querschnittsprofile werden nicht nachgewiesen. Die Schweißnähte werden bei Ermittlung der T-Stummel-Tragfähigkeit nicht berücksichtigt. Die vereinfachte Berechnung der Querkrafttragfähigkeit berücksichtigt alle Schraubenreihen.

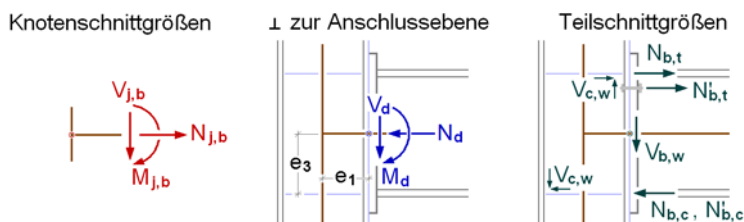
Endergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.968 < 1$ o.k.
 Minimale Rotationssteifigkeit: $\min S_j = 13.3 \text{ MNm/rad}$, $S_{j,ini} = 27.9 \text{ MNm/rad}$
 Maximale Verdrehung: $\max \varphi_{j,Ed} = 0.378^\circ$

Nachweis erbracht

Maßgebendes Lastkollektiv

Bemessungsgrößen



Schnittgrößen im Anschnitt

$N_{b,Ed} = -N_{j,b,Ed} = 26.59 \text{ kN}$
 $M_{b,Ed} = -M_{j,b,Ed} - V_{j,b,Ed} \cdot e_1 = 90.59 \text{ kNm}$, $e_1 = 135.0 \text{ mm}$
 $V_{b,Ed} = V_{j,b,Ed} = 84.67 \text{ kN}$

Schnittgrößen senkrecht zur Anschlussebene

$N_d = N_{b,Ed} = 26.59 \text{ kN}$
 $M_d = M_{b,Ed} = 90.59 \text{ kNm}$
 $V_d = V_{b,Ed} = 84.67 \text{ kN}$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_d \cdot t_{ep} = 88.05 \text{ kNm}$
 $N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b = 390.60 \text{ kN}$, $z_b = 218.0 \text{ mm}$, $z_{bu} = 109.0 \text{ mm}$
 $N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b = 417.19 \text{ kN}$, $z_b = 218.0 \text{ mm}$, $z_{bo} = 109.0 \text{ mm}$

Querschnittstragfähigkeit

plastischer Querschnittsnachweis für $N = -26.59 \text{ kN}$, $M_y = -88.05 \text{ kNm}$, $V_z = 84.67 \text{ kN}$

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

Obergurt: Grenznormalkräfte $N_{\max,O} = 676.80 \text{ kN}$, $N_{\min,O} = -676.80 \text{ kN}$

Untergurt: Grenznormalkräfte $N_{\max,U} = 676.80 \text{ kN}$, $N_{\min,U} = -676.80 \text{ kN}$

Steg: Querkraft $V_s = 84.67 \text{ kN}$, Schubspannung $\tau_s = 5.18 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U_{\tau,s} = 0.382$

Grenznormalkräfte $N_{\max,S} = 355.14 \text{ kN}$, $N_{\min,S} = -355.14 \text{ kN}$

Hauptbieg.: Normalkraft $N = -26.59 \text{ kN}$, Grenznormalkräfte $N_{\max} = 1708.74 \text{ kN}$, $N_{\min} = -1708.74 \text{ kN} \Rightarrow U_N = 0.016$

Moment $M_y = -88.05 \text{ kNm}$, Grenzmomente $M_{y,\max} = 166.79 \text{ kNm}$, $M_{y,\min} = -166.79 \text{ kNm} \Rightarrow U_{M_y} = 0.528$

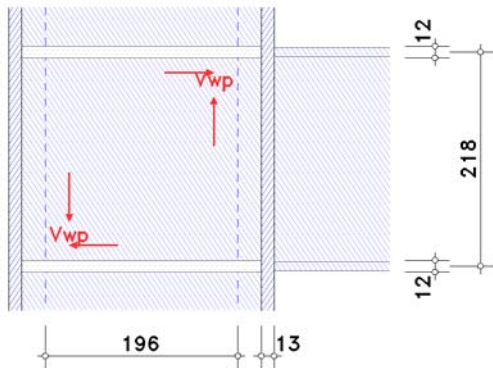
Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): max $U = 0.545 < 1$ **o.k.**

Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_\sigma = 0.545 < 1$ **o.k.**, c/t -Verhältnis $U_{c/t} = 0.424 < 1$ **o.k.**

Grundkomponenten

Grundkomponente 1: Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9)) $\beta = 1.00$



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

Schlankheit des Stützenstegs $d_c/t_{wc} = 24.50 < 69 \cdot \epsilon = 69.00 \Rightarrow$ Verfahren anwendbar

plastische Schubtragfähigkeit ohne Steifen $V_{wp,Rd} = (0.9 \cdot f_{y,w} \cdot A_v) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 387.6 \text{ kN}$

Anordnung von zwischenliegenden Stegsteifen:

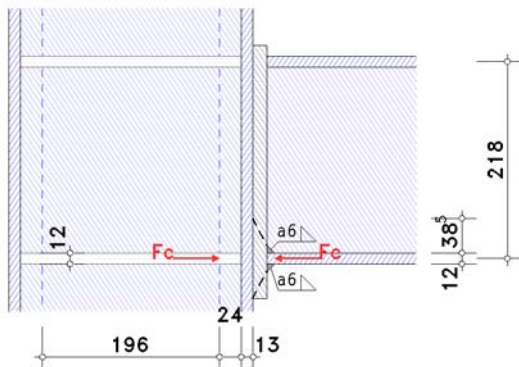
zusätzliche Tragfähigkeit $V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd} / d_{st} = 51.0 \text{ kN}$

$V_{wp,add,Rd} > 2 \cdot (M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,st,Rd}) / d_{st} = 44.8 \text{ kN} \Rightarrow V_{wp,add,Rd} = 44.8 \text{ kN}$

plastische Schubtragfähigkeit mit Quersteifen $V_{wp,Rd} = 432.4 \text{ kN}$

Grundkomponente 2: Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9)) $\beta = 1.00$



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: $c/t = 10.3 \cdot \epsilon \leq 33 \cdot \epsilon \Rightarrow$ Q-Klasse 1 ≤ 2 **o.k.**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfelds (Abstand der Steifen) $a = 218.0 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen $h_{wc} = 244.0 \text{ mm}$

Trägheitsmoment der Steifen $I_{st} = 1677.72 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für $a/h_{wc} = 0.89 < 2^{1/2}$: $I_{st,min} = 23.48 \text{ cm}^4 < I_{st}$ **o.k.**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen $I_T = 7.14 \text{ cm}^4$

polares Trägheitsmoment der Steifen $I_p = 192.45 \text{ cm}^4$

$I_T / I_p \approx 0.037 > 0.006 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st}$ **o.k.**

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

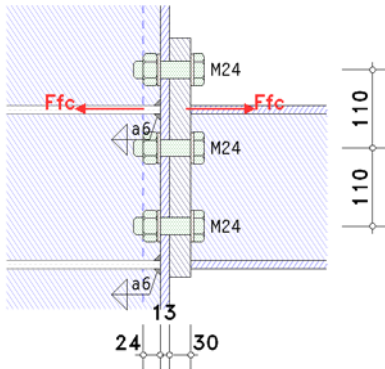
Fläche der Steifen einschl. Steg $A_{st} = 30.72 \text{ cm}^2$

Schlankheitsgrad $\lambda = 0.035$

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

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken $F_{c,w,Rd} = 656.3 \text{ kN}$

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: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 262.6 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 262.6 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 298.5 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1: $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 2.61 \text{ kNm}$

für Modus 2: $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 2.96 \text{ kNm}$

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 309.77 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 345.42 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 309.77 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 262.6 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 262.6 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 302.5 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1: $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 2.61 \text{ kNm}$

für Modus 2: $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 3.00 \text{ kNm}$

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 309.77 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 346.27 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 309.77 \text{ kN}$

Reihe 3

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 262.6 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 262.6 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 302.5 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1: $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 2.61 \text{ kNm}$

für Modus 2: $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 3.00 \text{ kNm}$

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 309.77 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 346.27 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 309.77 \text{ kN}$

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

$F_{t,fc,Rd,1} = 309.77 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 262.6 \text{ mm}$

$F_{t,fc,Rd,2} = 309.77 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 262.6 \text{ mm}$

$F_{t,fc,Rd,3} = 309.77 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 262.6 \text{ mm}$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):

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

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 454.1 \text{ mm}$, $\Sigma l_{eff,cp} = 482.6 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 454.1 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 4.51 \text{ kNm}$

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 535.58 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 660.68 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

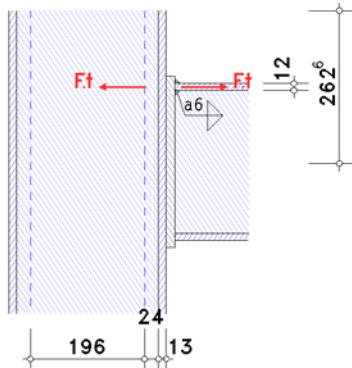
Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 535.58 \text{ kN}$

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

$F_{ep,Rd,2-3} = 535.58 \text{ kN}$, $\Sigma l_{eff} = 454.1 \text{ mm}$, 2 Reihen

Grundkomponente 3: Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9)) $\beta = 1.00$



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 $b_{eff,t} = 262.6 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.798$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 394.1 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Breite $b_{eff,t} = 262.6 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.798$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 394.1 \text{ kN}$

Reihe 3

wirksame Breite $b_{eff,t} = 262.6 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.798$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 394.1 \text{ kN}$

Gruppe von Schraubenreihen, Gruppe 1:

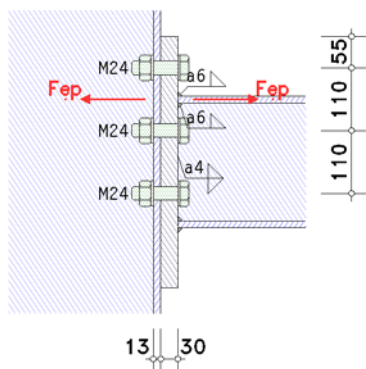
wirksame Breite $b_{eff,t} = 454.1 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.608$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 519.3 \text{ kN}$

Grundkomponente 5: Stirnblech mit Biegung



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

Überstehender Teil des Stirnblechs

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

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 120.0 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 245.8 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 120.0 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 6.34 \text{ kNm}$

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 723.10 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 412.92 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 412.92 \text{ kN}$

Tragfähigkeit und effektive Länge eines Stirnblechs mit Biegung (Überstand)

$F_{t,ep,Rd,1} = 412.9 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 120.0 \text{ mm}$

Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe maßgebend):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 339.3 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 356.4 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 339.3 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 17.94 \text{ kNm}$

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 1496.81 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 571.43 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 508.32 \text{ kN}$

Reihe 3

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 339.3 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 356.4 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 339.3 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 17.94 \text{ kNm}$

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 1496.81 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 571.43 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 508.32 \text{ kN}$

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

$F_{ep,Rd,2} = 508.32 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 339.3 \text{ mm}$

$F_{ep,Rd,3} = 508.32 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 339.3 \text{ mm}$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 2$

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 493.0 \text{ mm}$, $\Sigma l_{eff,cp} = 576.4 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 493.0 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 26.07 \text{ kNm}$

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 2174.75 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 967.15 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 967.15 \text{ kN}$

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

$F_{ep,Rd,2-3} = 967.15 \text{ kN}$, $\Sigma l_{eff} = 493.0 \text{ mm}$, 2 Reihen

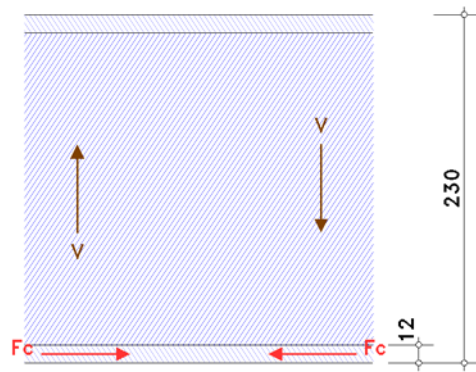
Grundkomponente 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

Flansch unten: Querschnittsklasse für $c/(\varepsilon \cdot t) = 7.94: 1$

Steg: Querschnittsklasse für $\alpha = 0.52$ und $c/(\varepsilon \cdot t) = 21.87: 1$

Querschnittsklasse des Trägers: 1

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion $V_{Ed} = 84.7 \text{ kN}$



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

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 84.7 \text{ kN} \leq 170.8 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 175.07 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 745.00 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 803.10 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

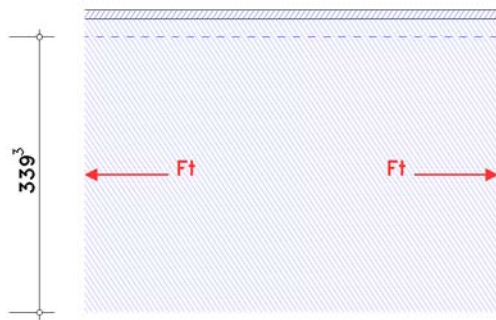
Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 84.7 \text{ kN} \leq 170.8 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 175.07 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 745.00 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 803.10 \text{ kN}$$

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 2

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 339.3 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 598.1 \text{ kN}$$

Reihe 3

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 339.3 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 598.1 \text{ kN}$$

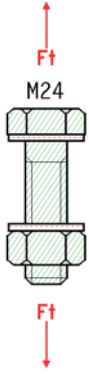
Gruppe von Schraubenreihen, Gruppe 1:

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 493.0 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 869.0 \text{ kN}$$

Grundkomponente 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



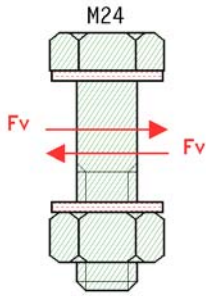
In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

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

Durchstanztragfähigkeit $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 304.17 \text{ kN}$, $t_p = 13.0 \text{ mm}$

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

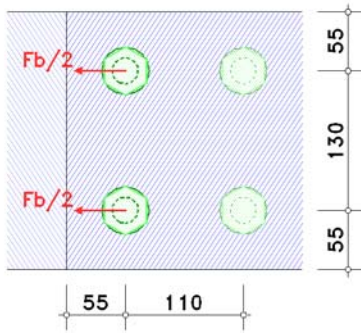


In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

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 (1-schnittig): $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 434.29 \text{ kN}$

Grundkomponente 12: Blech mit Lochleibungsbeanspruchung



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

Reihe 1

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 365.54 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.71$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 365.54 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.71$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 731.08 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 224.64 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 224.64 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 449.28 \text{ kN}$

Reihe 2

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 518.40 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 518.40 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 1036.80 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 224.64 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 224.64 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 449.28 \text{ kN}$

Reihe 3

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 518.40 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 518.40 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$
Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 1036.80 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 224.64 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 224.64 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 449.28 \text{ kN}$

Reihe 4

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 518.40 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 518.40 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 1036.80 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 224.64 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 224.64 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 449.28 \text{ kN}$

Lochleibungstragfähigkeiten (4 Reihen)

$\Sigma F_{b,Rd,1} = 449.28 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,2} = 449.28 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,3} = 449.28 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,4} = 449.28 \text{ kN}$

Anschlusstragfähigkeit

Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 274.0 \text{ mm}$, $h_2 = 164.0 \text{ mm}$, $h_3 = 54.0 \text{ mm}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (MNV-Interaktion)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 309.8 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 92.3 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd} = 402.1 \text{ kN}$

Tragfähigkeit der Flansche (MNV-Interaktion)

$F_{c,Rd} = 432.4 \text{ kN}$

Biegetragfähigkeit

$M_{j,Rd} = \Sigma (F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 100.0 \text{ kNm}$

Zugtragfähigkeit

$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd} = 402.1 \text{ kN}$

Drucktragfähigkeit

$N_{j,c,Rd} = F_{c,Rd} = 432.4 \text{ kN}$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$V_{j,Rd} = 96.6 \text{ kN}$ (MNV-Interaktion)

Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

Blech: $V_{ep,Rd} = 667.53 \text{ kN}$

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

Schweißnähte: $F_{w,Rd} = 272.69 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs: $V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 272.69 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

$V_{wp,Rd}/\beta = 432.4 \text{ kN}$

plastische Schubtragfähigkeit

$V_{pl,Rd} = 0.5 \cdot A_v \cdot (f_y/31^{1/2}) / \gamma_{M0} = 170.8 \text{ kN}$ (Bedingung, s. 'Typisierte Anschlüsse')

Gesamt

$M_{j,Rd} = 100.0 \text{ kNm}$ $N_{j,t,Rd} = 402.1 \text{ kN}$ $N_{j,c,Rd} = 432.4 \text{ kN}$ $V_{j,Rd} = 96.6 \text{ kN}$ $V_{wp,Rd}/\beta = 432.4 \text{ kN}$ $V_{pl,Rd} = 170.8 \text{ kN}$

$V_{ep,Rd} = 272.7 \text{ kN}$

Nachweise

Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

$U_{MNV} = 0.877 < 1$ **o.k.**

$V_{wp,Ed}/(V_{wp,Rd}/\beta) = 0.968 < 1$ **o.k.**

$V_{Ed}/V_{pl,Rd} = 0.496 < 1$ **o.k.**

$V_{Ed}/V_{ep,Rd} = 0.310 < 1$ **o.k.**

Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

Nahte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nahte 4,5: Trägersteg beidseitig

Nahte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

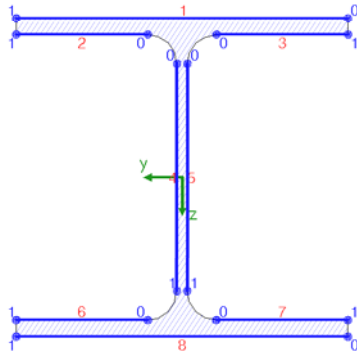
Naht 4: NA-DE: Blechdicke $t_{\max} \geq 30$ mm: Nahtdicke $a = 4.0$ mm $< a_{\min} = 5$ mm !!

Naht 4: Nahtdicke $a = 4.0$ mm $> a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 3.7$ mm !!

Naht 5: NA-DE: Blechdicke $t_{\max} \geq 30$ mm: Nahtdicke $a = 4.0$ mm $< a_{\min} = 5$ mm !!

Naht 5: Nahtdicke $a = 4.0$ mm $> a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 3.7$ mm !!

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:	$a_w = 6.0$ mm	$l_w = 240.0$ mm
Naht 2:	$a_w = 6.0$ mm	$l_w = 95.3$ mm
Naht 3:	siehe Naht 2	
Naht 4:	$a_w = 4.0$ mm	$l_w = 164.0$ mm
Naht 5:	siehe Naht 4	
Naht 6:	$a_w = 6.0$ mm	$l_w = 95.3$ mm
Naht 7:	siehe Naht 6	
Naht 8:	$a_w = 6.0$ mm	$l_w = 240.0$ mm

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$N_{Ed} = -26.59$ kN, $M_{y,Ed} = -90.59$ kNm, $V_{z,Ed} = 84.67$ kN

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$\Sigma A_w = 64.78$ cm², $A_{w,z} = 13.12$ cm², $\Sigma l_w = 118.9$ cm

$I_{w,y} = 6528.08$ cm⁴, $I_{w,z} = 2754.52$ cm⁴, $W_{w,t} = 61.47$ cm³, $\Delta z_w = 0.0$ mm

Nachweise in den Endpunkten der Einzelnähte:

Naht 1, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 155.48$ N/mm ²	$\Rightarrow U_w = 0.611 < 1$ o.k.
Naht 2, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 138.83$ N/mm ²	$\Rightarrow U_w = 0.545 < 1$ o.k.
Naht 4, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 109.69$ N/mm ² $\tau_{w,z} = 64.53$ N/mm ²	$\Rightarrow U_w = 0.531 < 1$ o.k.
	Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -117.89$ N/mm ² $\tau_{w,z} = 64.53$ N/mm ²	$\Rightarrow U_w = 0.558 < 1$ o.k.
Naht 6, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -147.04$ N/mm ²	$\Rightarrow U_w = 0.578 < 1$ o.k.
Naht 8, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -163.69$ N/mm ²	$\Rightarrow U_w = 0.643 < 1$ o.k.

Ergebnis:

Naht 8, Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -163.69$ N/mm²

Max: $\sigma_{1,w,Ed} = 23.15$ kN/cm² $< f_{1w,d} = 36.00$ kN/cm²,

$\sigma_{2,w,Ed} = 11.57$ kN/cm² $< f_{2w,d} = 25.92$ kN/cm² $\Rightarrow U_w = 0.643 < 1$ o.k.

Nachweis der Stegsteifen

Drucksteife

$F_{c,Ed} = 427.00$ kN

Kräfte je Rippe

$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 170.8$ kN, $H = F \cdot e_f / e_H = 56.0$ kN

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: $c/t = 10.3 \leq 33 \Rightarrow$ Q-Klasse $1 \leq 2$ o.k.

Querschnitt am Flansch

Drucktragfähigkeit $N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 248.16$ kN

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 196.4$ kN

$F_{Ed} = 196.4$ kN $< F_{Rd} = 248.2$ kN $\Rightarrow U = 0.792 < 1$ o.k.

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = 397.26$ kN

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 170.8$ kN

$F_{Ed} = 170.8$ kN $< F_{Rd} = 397.3$ kN $\Rightarrow U = 0.430 < 1$ o.k.

Schweißnähte am Flansch

Bemessungsgrößen: $F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 9.70$ kN/cm, $F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 3.18$ kN/cm, $b_1 = 88.0$ mm

$\sigma_{1,w,Ed} = 18.60$ kN/cm² $< f_{1w,d} = 36.00$ kN/cm² $\Rightarrow U = 0.517 < 1$ o.k.

$\sigma_{2,w,Ed} = 16.17$ kN/cm² $< f_{2w,d} = 25.92$ kN/cm² $\Rightarrow U = 0.624 < 1$ o.k.

Schweißnähte am Steg

Bemessungsgröße: $F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 4.97$ kN/cm, $l_1 = 172.0$ mm

$\sigma_{1,w,Ed} = 21.50$ kN/cm² $< f_{1w,d} = 36.00$ kN/cm² $\Rightarrow U = 0.597 < 1$ o.k.

Zugsteife

$F_{t,Ed} = 400.42$ kN

Kräfte je Rippe

$F = 0.5 \cdot F_{t,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 160.2$ kN, $H = F \cdot e_f / e_H = 52.5$ kN

Querschnitt am Flansch

Zugtragfähigkeit $N_{t,Rd} = 248.16$ kN

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 184.2$ kN

$F_{Ed} = 184.2$ kN $< F_{Rd} = 248.2$ kN $\Rightarrow U = 0.742 < 1$ o.k.

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = 397.26$ kN

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 160.2$ kN

$F_{Ed} = 160.2$ kN $< F_{Rd} = 397.3$ kN $\Rightarrow U = 0.403 < 1$ o.k.

Schweißnähte am Flansch

Bemessungsgrößen: $F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 9.10 \text{ kN/cm}$, $F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 2.98 \text{ kN/cm}$, $b_1 = 88.0 \text{ mm}$

$\sigma_{1,w,Ed} = 17.44 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.485 < 1$ o.k.

$\sigma_{2,w,Ed} = 15.17 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.585 < 1$ o.k.

Schweißnähte am Steg

Bemessungsgröße: $F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 4.66 \text{ kN/cm}$, $l_1 = 172.0 \text{ mm}$

$\sigma_{1,w,Ed} = 20.16 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.560 < 1$ o.k.

Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.968 < 1$ o.k.

Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 5.51 \text{ mm}$

$k_2 = \infty$ (ausgesteift)

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 2 Zug-Schraubenreihen:

1: $k_3 = 7.50 \text{ mm}$, $k_4 = 7.11 \text{ mm}$, $k_5 = 36.14 \text{ mm}$, $k_{10} = 8.25 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 2.365 \text{ mm}$

2: $k_3 = 6.49 \text{ mm}$, $k_4 = 6.15 \text{ mm}$, $k_5 = 32.82 \text{ mm}$, $k_{10} = 8.25 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 2.134 \text{ mm}$

$k_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) / z_{eq} = 4.239 \text{ mm}$, $z_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) = 235.4 \text{ mm}$

Rotationssteifigkeit

Anfangsrotationssteifigkeit: $S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 27881.2 \text{ kNm/rad}$, $z = z_{eq} = 235.4 \text{ mm}$, $\Sigma(1/k_i) = 0.417 \text{ mm}^{-1}$

$N_{b,Ed} = N_d = 26.59 \text{ kN}$

$|N_{b,Ed}| = 26.59 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 90.28 \text{ kN}$ o.k.

$|M_{j,Ed}| = 87.69 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,Rd} = 66.7 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^\Psi = 2.095$, $\Psi = 2.7$

Rotationssteifigkeit: $S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 13305.4 \text{ kNm/rad}$

Verdrehung: $\varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.378^\circ$