

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M20, normale Schlüsselweite

Schaft in der Scherfuge

Parameter des Trägers

Profil IPE400

Neigungswinkel des Profils gegen die Horizontale $\alpha_b = 2.00^\circ \Rightarrow$ Profilhöhe im Anschluss $h_b = h / \cos(\alpha_b) = 400.2 \text{ mm}$

Neigungswinkel der Voute gegen die Horizontale $\alpha_v = 14.60^\circ \Rightarrow$ Voutenwinkel gegen den Träger $\Delta\alpha_v = 12.60^\circ$

Länge der Voute $L_v = 1745.0 \text{ mm}$, Voutenhöhe im Anschluss $h_v = L_v \cdot (\tan(\alpha_v) - \tan(\alpha_b)) = 393.6 \text{ mm}$

Stegdicke $t_{w,v} = 8.6 \text{ mm}$, Flanscbreite, -dicke $b_{f,v} = 180.0 \text{ mm}$, $t_{f,v} = 13.5 \text{ mm}$, Schweißnahtdicke $a_v = 8.6 \text{ mm}$

Gesamte Trägerhöhe im Anschluss $h_{ges} = h_b + h_v = 793.8 \text{ mm}$

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss

Dicke $t_p = 20.0 \text{ mm}$, Breite $b_p = 180.0 \text{ mm}$, Länge $l_p = 800.0 \text{ mm}$

Überstände $h_{p,o} = 3.1 \text{ mm}$, $h_{p,u} = 3.1 \text{ mm}$

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 $e_2 = 40.0 \text{ mm}$

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 86.5 \text{ mm}$

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 83.5 \text{ mm}$

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum freien Rand der Stütze (Endreihe) $e_1' = 86.5 \text{ mm}$

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 80.0 \text{ mm}$, $p_{2-3} = 550.0 \text{ mm}$

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm}$, Öffnungswinkel $\varphi = 88^\circ$

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

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm}$, Öffnungswinkel $\varphi = 105^\circ$

Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung bezogen auf die Systemachsen

Lk 1: $N_{b,Ed} = 37.70 \text{ kN}$ $M_{b,Ed} = 291.00 \text{ kNm}$ $V_{b,Ed} = 94.30 \text{ kN}$

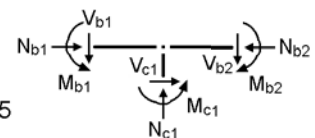
Materialsicherheitsbeiwerte

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

Es sind einzelne Grundkomponenten abgewählt,

dadurch ist ggf. die Gesamtragfähigkeit der Verbindung nicht gewährleistet !

Ein linksseitiger Anschluss wird in einen rechtsseitigen transformiert. Alle Bezeichnungen und Meldungen beziehen sich auf dieses Berechnungsmodell.

Bei gevouteten Trägern wird der untere Flansch des Trägerprofils nicht berücksichtigt. Es wird ein fiktives Profil aus dem oberen Trägerflansch, dem Trägersteg und dem Voutenflansch gebildet.

Lediglich bei der Berechnung des Stirnblechs geht der untere Trägerflansch als Zwischensteife ein.

Die Querschnittsprofile werden nicht nachgewiesen.

Der Anschluss der Voute an den Träger wird nicht nachgewiesen.

Die Schweißnähte des Voutenprofils werden nicht nachgewiesen.

Die Schweißnähte werden bei Ermittlung der T-Stummel-Tragfähigkeit nicht berücksichtigt.

Die lokale Schweißnahttragfähigkeit wird nicht berücksichtigt.

Platten- und Schubbeulen wird nicht untersucht.

Die Berechnung der T-Stummel-Tragfähigkeit erfolgt mit dem Standard-Verfahren.

Die lokale Schubtragfähigkeit des Stirnblechs wird nicht berücksichtigt.

Datencheck

ok

Schraubenabstände am Stirnblech

horizontal: $e_2 = 40.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm}$,

horizontal: $p_2 = 100.0 \text{ mm} > 2.4 \cdot d_0 = 52.8 \text{ mm}$,

oben-unten: $e_1 = 86.5 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm}$,

oben-unten: $e_1 = 86.5 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm}$,

oben-unten: $p_1 = 80.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 48.4 \text{ mm}$,

oben-unten: $p_1 = 550.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 48.4 \text{ mm}$,

oben-unten: $e_1 = 83.5 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm}$,

Schraubenabstand vom Stützenrand

horizontal: $e_2 = 100.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm}$,

$e_2 = 40.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 102.0 \text{ mm}$

$p_2 = 100.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$

$e_1 = 86.5 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 102.0 \text{ mm}$

$e_1 = 86.5 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 102.0 \text{ mm}$

$p_1 = 80.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$

$p_1 = 550.0 \text{ mm} > \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm} !!$

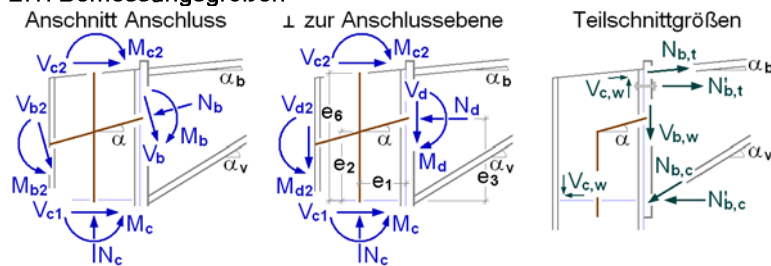
$e_1 = 83.5 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 102.0 \text{ mm}$

$e_2 = 100.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 102.0 \text{ mm}$

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

2. Lk 1

2.1. Bemessungsgrößen



Neigungswinkel: $\alpha_b = 2.00^\circ$, $\alpha_v = 14.60^\circ \Rightarrow \alpha = (\alpha_b + \alpha_v)/2 = 8.30^\circ$

Abstände: $e_1 = 155.0 \text{ mm}$, $e_3 = 398.6 \text{ mm}$, $e_2 = 376.0 \text{ mm}$, $e_6 = 782.6 \text{ mm}$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger

$N_d = 23.69 \text{ kN}$, $M_d = 291.00 \text{ kNm}$, $V_d = 98.75 \text{ kN}$

Anschnitt Stütze (unten, berechnet)

$N_c = 98.75 \text{ kN}$, $M_c = 296.86 \text{ kNm}$, $V_c = 23.69 \text{ kN}$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d + N_d \cdot t_p \cdot \tan(\alpha) - V_d \cdot t_p = 289.09 \text{ kNm}$

$N_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b) / \cos(\alpha_b) = 358.91 \text{ kN}$, $z_b = 780.1 \text{ mm}$, $z_{bu} = 391.5 \text{ mm}$

$N_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b) / \cos(\alpha_v) = 395.14 \text{ kN}$, $z_b = 780.1 \text{ mm}$, $z_{bo} = 388.6 \text{ mm}$

$V_{b,t} = -N_{b,t} \cdot \sin(\alpha_b) = -12.53 \text{ kN}$, $V_{b,c} = N_{b,c} \cdot \sin(\alpha_v) = 99.60 \text{ kN}$, $V_{b,w} = V_d - V_{b,t} - V_{b,c} = 11.68 \text{ kN}$

2.2. Querschnittstragfähigkeit im Anschnitt

c/t-Ausnutzung bzgl. Q-Klasse 2

Flansch unten: Q-Klasse 1, Ausnutzung $U_{c/t} = 0.527$

Steg: Q-Klasse 3, Ausnutzung $U_{c/t} = 1.073$

Gesamt: Q-Klasse 3, c/t-Ausnutzung $U_{c/t} = 1.073 > 1$ **nicht ok !!**

plastischer Spannungsnachweis für $N_{Ed} = -23.69 \text{ kN}$, $M_{y,Ed} = -289.09 \text{ kNm}$, $V_{z,Ed} = 98.75 \text{ kN}$

Q-Klasse des Profils 3 $> 2 \Rightarrow$ genauer Nachweis erforderlich !!

Nachweis nicht möglich !!

Der Querschnitt ist plastisch nicht nachweisbar !!

elastischer Spannungsnachweis für $N = -23.69 \text{ kN}$, $M_y = -289.09 \text{ kNm}$, $V_z = 98.75 \text{ kN}$

Nachweis: $\sigma_v = 108.30 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{v,Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_\sigma = 0.461 < 1$ **ok**

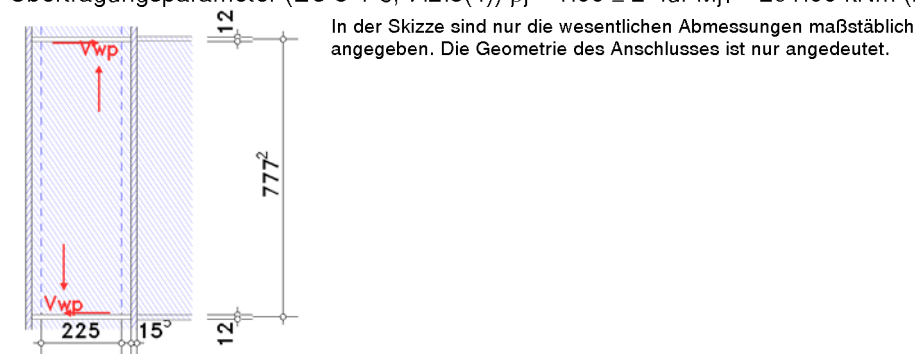
c/t-Verhältnis: einseitig gestützt: Ausnutzung $U_{c/t} = 0.270 < 1$ **ok**

beidseitig gestützt: Ausnutzung $U_{c/t} = 0.486 < 1$ **ok**

2.3. Grundkomponenten

2.3.1. Gk 1: Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 7.2.3(4)) $\beta_j = 1.00 \leq 2$ für $M_{j1} = 291.00 \text{ kNm}$ ($M_{j2} = 0$)



Slankheit des Stützenstegs $h_{wc}/t_{wc} = 31.00 < 72 \cdot \epsilon/\eta = 60.00 \Rightarrow$ Verfahren anwendbar

plastische Schubtragfähigkeit ohne Stegsteifen $V_{wp,Rd} = (0.9 \cdot f_{y,w} \cdot A_{wp}) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 340.69 \text{ kN}$

Beitrag des Stützenflanschs:

zusätzliche Tragfähigkeit $V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd}/z_{wp} = 24.1 \text{ kN}$, $z_{wp} = h_r = 703.5 \text{ mm}$

plastische Schubtragfähigkeit zzgl. Beitrag des Stützenflanschs $V_{wp,Rd} = 364.8 \text{ kN}$

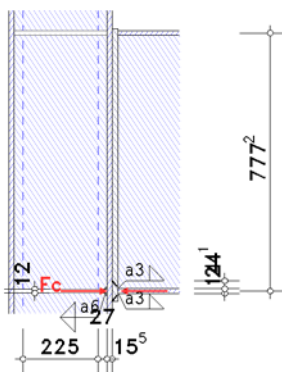
Anordnung von zwischenliegenden Stegsteifen:

zusätzliche Tragfähigkeit $V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd}/h_r + 2 \cdot M_{pl,st,Rd}/h_r = 24.08 \text{ kN}$

plastische Schubtragfähigkeit mit Quersteifen $V_{wp,Rd} = 388.84 \text{ kN}$

2.3.2. Gk 2: Stützensteg mit Querdrukbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 7.2.3(4)) $\beta_j = 1.00 \leq 2$ für $M_{j1} = 291.00 \text{ kNm}$ ($M_{j2} = 0$)
 Längsdruckspannung im Stützensteg $\sigma_{\text{com,Ed}} = 153.61 \text{ N/mm}^2$



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

wirksame Breite des Stegs für Querdruk $b_{\text{eff,c}} = t_{\text{fb}} + 2 \cdot 2^{1/2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{\text{fc}} + s_c) + s_p = 253.6 \text{ mm}$

Abminderungsbeiwert $k_w = 1.0$ für $\sigma_{\text{com,Ed}} = 153.6 \text{ N/mm}^2 \leq 0.7 \cdot f_{y,w} = 164.5 \text{ N/mm}^2$

Plattenschlankheitsgrad $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{\text{eff,c}} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 0.828$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen $\rho = (\lambda_p - 0.22) / \lambda_p^2 = 0.887$ für $\lambda_p > 0.673$

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.731$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung:

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{\text{eff,c}} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 392.25 \text{ kN}$$

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{\text{eff,c}} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 316.35 \text{ kN (maßgebend)}$$

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) $a = 777.2 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen $h_{wc} = 279.0 \text{ mm}$

Trägheitsmoment der Steifen $I_{st} = 912.93 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für $a/h_{wc} = 2.79 \geq 2^{1/2}$: $I_{st,min} = 15.25 \text{ cm}^4 < I_{st}$ **ok**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen $I_T = 5.76 \text{ cm}^4$

polares Trägheitsmoment der Steifen $I_p = 101.44 \text{ cm}^4$

$I_T / I_p \approx 0.057 > 0.006 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st}$ **ok**

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung:

Fläche der Steifen einschl. Steg $A_{st} = 25.08 \text{ cm}^2$

Schlankheitsgrad $\lambda = 0.049$

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

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken $F_{c,w,Rd} = 535.8 \text{ kN}$

Maximale Tragfähigkeit:

$F_{c,w,Rd} = 535.8 \text{ kN}$ (Tragfähigkeit mit Quersteifen)

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

wirksame Breite des Stegs für Querdruk $b_{\text{eff,c}} = t_{\text{fb}} + 2 \cdot 2^{1/2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{\text{fc}} + s_c) + s_p = 253.5 \text{ mm}$

Abminderungsbeiwert $k_w = 1.0$ für $\sigma_{\text{com,Ed}} = 153.6 \text{ N/mm}^2 \leq 0.7 \cdot f_{y,w} = 164.5 \text{ N/mm}^2$

Plattenschlankheitsgrad $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{\text{eff,c}} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 0.827$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen $\rho = (\lambda_p - 0.22) / \lambda_p^2 = 0.887$ für $\lambda_p > 0.673$

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.731$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung:

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{\text{eff,c}} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 392.18 \text{ kN}$$

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{\text{eff,c}} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 316.33 \text{ kN (maßgebend)}$$

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) $a = 777.2 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen $h_{wc} = 279.0 \text{ mm}$

Trägheitsmoment der Steifen $I_{st} = 912.93 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für $a/h_{wc} = 2.79 \geq 2^{1/2}$: $I_{st,min} = 15.25 \text{ cm}^4 < I_{st}$ **ok**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen $I_T = 5.76 \text{ cm}^4$

polares Trägheitsmoment der Steifen $I_p = 101.44 \text{ cm}^4$

$I_T / I_p \approx 0.057 > 0.006 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st}$ **ok**

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung:

Fläche der Steifen einschl. Steg $A_{st} = 25.08 \text{ cm}^2$

Schlankheitsgrad $\lambda = 0.049$

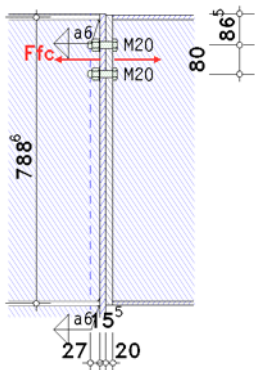
$\lambda \leq 0.2 \Rightarrow$ keine Abminderung ($\chi = 1.0$)

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken $F_{c,w,Rd} = 535.8 \text{ kN}$

Maximale Tragfähigkeit:

$F_{c,w,Rd} = 535.8 \text{ kN}$ (Tragfähigkeit mit Quersteifen)

2.3.3. 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: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 150.2 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 150.2 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 196.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1: $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 2.12 \text{ kNm}$

für Modus 2: $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 2.78 \text{ kNm}$

$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.26 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 352.51 \text{ kN}$

$L_b = 54.3 \text{ mm} > 52.6 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ keine Abstützkräfte !

Modus 1 und 2: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs ggf. gleichzeitig mit Schraubenversagen

$F_{T,1-2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 177.37 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 352.51 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 177.37 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 150.2 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 150.2 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 220.6 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1: $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 2.12 \text{ kNm}$

für Modus 2: $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 3.11 \text{ kNm}$

$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.26 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 352.51 \text{ kN}$

$L_b = 54.3 \text{ mm} > 52.6 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ keine Abstützkräfte !

Modus 1 und 2: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs ggf. gleichzeitig mit Schraubenversagen

$F_{T,1-2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 177.37 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 352.51 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 177.37 \text{ kN}$

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

$F_{t,fc,Rd,1} = 177.37 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 150.2 \text{ mm}$

$F_{t,fc,Rd,2} = 177.37 \text{ kN}$, $l_{eff,2} = 150.2 \text{ mm}$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Gruppe von Schraubenreihen):

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

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 276.8 \text{ mm}$, $\Sigma l_{eff,cp} = 310.2 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 276.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 3.91 \text{ kNm}$

$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.26 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 705.02 \text{ kN}$

$L_b = 54.3 \text{ mm} \leq 57.1 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 653.88 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 536.99 \text{ kN}$

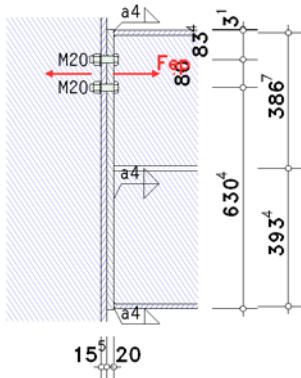
Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 705.02 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 536.99 \text{ kN}$

effektive Länge: $\Sigma l_{eff} = 276.8 \text{ mm}$, 2 Reihen

2.3.4. 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: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 214.7 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 258.7 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 214.7 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.05 \text{ kNm}$

$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.26 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 352.51 \text{ kN}$

$L_b = 54.3 \text{ mm} \leq 87.6 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 490.15 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 298.02 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 352.51 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 298.02 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 214.7 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 258.7 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 214.7 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.05 \text{ kNm}$

$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.26 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 352.51 \text{ kN}$

$L_b = 54.3 \text{ mm} \leq 87.6 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 490.15 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 298.02 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 352.51 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 298.02 \text{ kN}$

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

$F_{ep,Rd,1} = 298.02 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 214.7 \text{ mm}$

$F_{ep,Rd,2} = 298.02 \text{ kN}$, $l_{eff,2} = 214.7 \text{ mm}$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Gruppe von Schraubenreihen):

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

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 227.3 \text{ mm}$, $\Sigma l_{eff,cp} = 369.4 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 227.3 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.34 \text{ kNm}$

$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.26 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 705.02 \text{ kN}$

$L_b = 54.3 \text{ mm} \leq 165.4 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 519.03 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 479.05 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 705.02 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 479.05 \text{ kN}$

effektive Länge: $\Sigma l_{eff} = 227.3 \text{ mm}$, 2 Reihen

2.4. Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

$$V_{wp,Rd} = 388.8 \text{ kN}$$

2.5. Nachweise

2.5.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit Teilschnittgrößen

Schubkraft im Stützensteg:

$$V_{c,w,Ed} = (M_{d1} - M_{d2}) / z - V_c / 2 = 425.17 \text{ kN}, \quad z = 665.9 \text{ mm}$$

Zugkraft in den Schraubenreihen:

$$N'_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu} + M_d) / z = 423.19 \text{ kN}, \quad z = z_{eq} = 665.9 \text{ mm}, \quad z_{bu} = 388.6 \text{ mm}$$

Druckkraft bezogen auf die Zugkraft in den Schraubenreihen:

$$N'_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo} + M_d) / z = 446.88 \text{ kN}, \quad z = z_{eq} = 665.9 \text{ mm}, \quad z_{bo} = 277.3 \text{ mm}$$

- Gk 1: $F_{Rd} = V_{wp,Rd} = 388.8 \text{ kN}$, $F_{Ed} = |V_{c,w,Ed}| = 425.17 \text{ kN}$
 $F_{Ed} = 425.2 \text{ kN} > F_{Rd} = 388.8 \text{ kN} \Rightarrow U = 1.093 > 1$ **nicht ok !!**
- Gk 2: $F_{Rd} = F_{c,w,Rd} = 535.8 \text{ kN}$, $F_{Ed} = N'_{b,c} = 446.88 \text{ kN}$
 $F_{Ed} = 446.9 \text{ kN} < F_{Rd} = 535.8 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.834 < 1$ **ok**
 $F_{Rd} = F_{c,w,Rd} = 535.8 \text{ kN}$, $F_{Ed} = -N'_{b,t} = -423.19 \text{ kN} \leq 0$ **kein Nachweis**
- Gk 4: $F_{Rd} = \min(\Sigma F_{t,fc,Rd,i}, F_{t,fc,Rd}) = 353.5 \text{ kN}$, $F_{Ed} = N'_{b,t} = 423.19 \text{ kN}$
 $F_{Ed} = 423.2 \text{ kN} > F_{Rd} = 353.5 \text{ kN} \Rightarrow U = 1.197 > 1$ **nicht ok !!**
- Gk 5: $F_{Rd} = \min(\Sigma F_{t,ep,Rd,i}, F_{t,ep,Rd}) = 484.3 \text{ kN}$, $F_{Ed} = N'_{b,t} = 423.19 \text{ kN}$
 $F_{Ed} = 423.2 \text{ kN} < F_{Rd} = 484.3 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.874 < 1$ **ok**

Ausnutzung Teilschnittgrößen $U_{Gk} = 1.197 > 1$ **nicht ok !!**

2.5.1.1. Schubtragfähigkeit

Schubkraft im Stützensteg:

$$V_{c,w,Ed} = (M_{d1} - M_{d2}) / z - V_c / 2 = 425.17 \text{ kN}, \quad z = 665.9 \text{ mm}$$

$$V_{c,w,Ed} / V_{wp,Rd} = 1.093 > 1$$
 nicht ok !!

2.5.2. Nachweis der Stegsteifen

Drucksteife (unten)

$$F_{c,Ed} = 425.30 \text{ kN}$$

Kräfte je Rippe

$$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f \cdot 2 \cdot r \cdot t_w) / b_f = 167.99 \text{ kN}, \quad H = F \cdot e_F / e_H = 39.14 \text{ kN}$$

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

Querschnitt am Flansch

Drucktragfähigkeit $N_{c,Rd} = 197.40 \text{ kN}$

$$\text{ Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 181.15 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 181.15 \text{ kN} < F_{Rd} = 197.40 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.918 < 1$$
 ok

Querschnitt am Steg

$$\text{ Schubtragfähigkeit } V_{Rd} = (A_v \cdot f_y) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 356.56 \text{ kN}$$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 167.99 \text{ kN}$

$$F_{Ed} = 167.99 \text{ kN} < F_{Rd} = 356.56 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.471 < 1$$
 ok

Schweißnähte am Flansch

$$\text{ Bemessungsgrößen: } F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 1199.94 \text{ kN/m}, \quad F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 279.56 \text{ kN/m}, \quad b_1 = 70.0 \text{ mm}$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = 215.7 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.599 < 1$$
 ok

$$\sigma_{2,w,Ed} = 200.0 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.2 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.772 < 1$$
 ok

Schweißnähte am Steg

$$\text{ Bemessungsgröße: } F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 383.54 \text{ kN/m}, \quad l_1 = 219.0 \text{ mm}$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = 221.4 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.615 < 1$$
 ok

Zugsteife (oben)

$$F_{t,Ed} = 401.85 \text{ kN}$$

Querschnitt

Zugtragfähigkeit $N_{t,Rd} = 846.00 \text{ kN}$

$$F_{Ed} = 401.85 \text{ kN} < F_{Rd} = 846.00 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.475 < 1$$
 ok

2.5.3. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 1.197 > 1$ **nicht ok !!**

Versagen beim Nachweis für Schub im Stützensteg: $U = 1.093$

Versagen beim Nachweis mit Teilschnittgrößen: $U = 1.197$

3. Endergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 1.197 > 1$ **nicht ok !!**

Tragfähigkeit nicht gewährleistet !!

Die Gesamtragfähigkeit der Verbindung ist ggf. nicht gewährleistet (s. Hinweise) !

4. 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