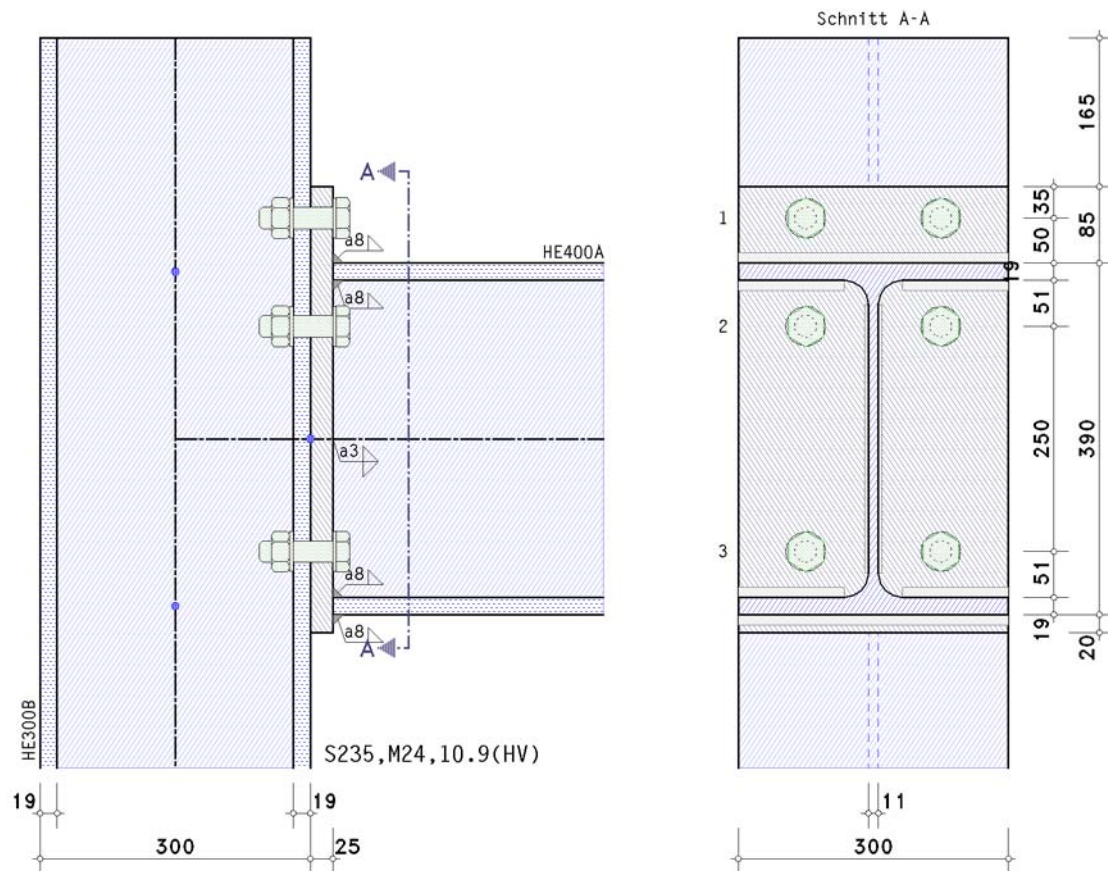
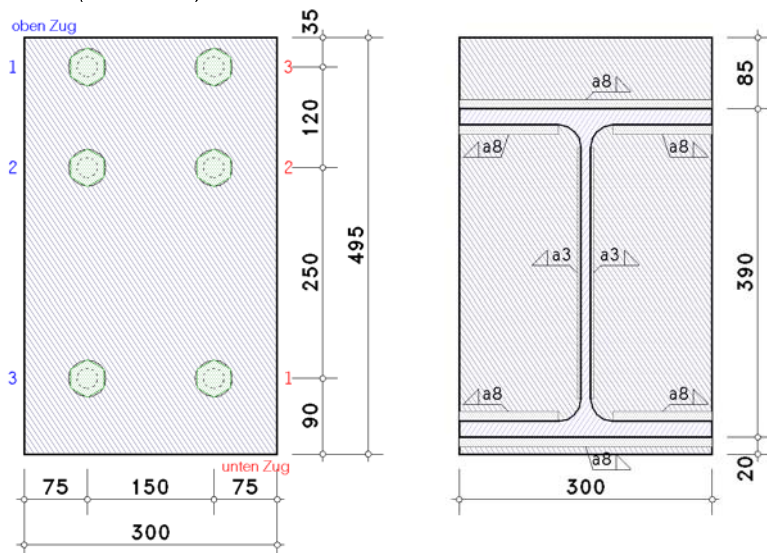


Biegesteifer Trägeranschluss EC 3-1-8 (12.10), NA: Deutschland

1. Eingabeprotokoll



Details (Schnitt A - A)



Stahlsorte

Stahlgüte S235, Rechenparameter:

char. Streckgrenze $f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2$ für $t \leq 40 \text{ mm}$, $f_y = 215.0 \text{ N/mm}^2$ für $t > 40 \text{ mm}$

char. Zugfestigkeit $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$ für $t \leq 40 \text{ mm}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$ für $t > 40 \text{ mm}$

Korrelationsbeiwert für Kehlnähte $\beta_w = 0.80$

Elastizitätsmodul $E = 210000.0 \text{ N/mm}^2$

Parameter der Stütze

Profil HE300B

Rechenwerte:

Gesamthöhe $h = 300.0 \text{ mm}$, Stegdicke $t_w = 11.0 \text{ mm}$

Flanschbreite $b_f = 300.0 \text{ mm}$, Flanschdicke $t_f = 19.0 \text{ mm}$
 gewalztes Profil, Ausrundungsradius $r = 27.0 \text{ mm}$
 Steghöhe ohne Ausrundung/Schweißnaht $d_w = 208.0 \text{ mm}$
 Breite einer Flanschseite ohne Ausrundung/Schweißnaht $c_f = 117.5 \text{ mm}$
 Schwerpunktabstand von oben $z_s = 150.0 \text{ mm}$
 Querschnittsfläche $A = 149.08 \text{ cm}^2$
 Flächenträgheitsmoment $I_y = 25164.07 \text{ cm}^4$
 plastisches Widerstandsmoment $W_{pl,y} = 1869.00 \text{ cm}^3$
 elastisches Widerstandsmoment $W_{el,y} = I_y/z_s = 1677.60 \text{ cm}^3$
 wirksame Schubfläche $A_{vz} = 47.43 \text{ cm}^2$
 Torsionsträgheitsmoment $I_T = 186.00 \text{ cm}^4$

Schrauben

Festigkeitsklasse 10.9

Rechenparameter:

char. Streckgrenze $f_{yb} = 900.0 \text{ N/mm}^2$
 char. Zugfestigkeit $f_{ub} = 1000.0 \text{ N/mm}^2$

Schraubengröße M24

große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt (zur Info: Regelvorspannkraft $F_{p,c^*} = 0.7 \cdot f_{yb} \cdot A_s = 222.4 \text{ kN}$)

Rechenparameter:

Schaftdurchmesser $d = 24.0 \text{ mm}$, Nennlochspiel $\Delta d = 2.0 \text{ mm} \Rightarrow$ Lochdurchmesser $d_0 = 26.0 \text{ mm}$
 Bruttoquerschnittsfläche (Schaft) $A = 4.524 \text{ cm}^2$
 Spannungsquerschnittsfläche $A_s = 3.530 \text{ cm}^2$
 Durchmesser des Schraubenkopfes (Schlüsselweite) $d_s = 41.0 \text{ mm}$
 Durchmesser des Schraubenkopfes (Eckenmaß) $d_e = 45.20 \text{ mm}$
 Schraubenkopfhöhe $t_k = 15.0 \text{ mm}$
 Höhe der Mutter $t_m = 20.0 \text{ mm}$
 Durchmesser der Unterlegscheibe $d_p = 44.0 \text{ mm}$
 Blechdicke der Unterlegscheibe $t_p = 4.0 \text{ mm}$
 Unterlegscheibe beidseitig

Schaft in der Scherfuge

Parameter des Trägers

Profil HE400A

Rechenwerte:

Gesamthöhe $h = 390.0 \text{ mm}$, Stegdicke $t_w = 11.0 \text{ mm}$
 Flanschbreite $b_f = 300.0 \text{ mm}$, Flanschdicke $t_f = 19.0 \text{ mm}$
 gewalztes Profil, Ausrundungsradius $r = 27.0 \text{ mm}$
 Steghöhe ohne Ausrundung/Schweißnaht $d_w = 298.0 \text{ mm}$
 Breite einer Flanschseite ohne Ausrundung/Schweißnaht $c_f = 117.5 \text{ mm}$
 Schwerpunktabstand von oben $z_s = 195.0 \text{ mm}$
 Querschnittsfläche $A = 158.98 \text{ cm}^2$
 Flächenträgheitsmoment $I_y = 45067.79 \text{ cm}^4$
 plastisches Widerstandsmoment $W_{pl,y} = 2562.00 \text{ cm}^3$
 elastisches Widerstandsmoment $W_{el,y} = I_y/z_s = 2311.17 \text{ cm}^3$
 wirksame Schubfläche $A_{vz} = 57.33 \text{ cm}^2$
 Torsionsträgheitsmoment $I_T = 190.00 \text{ cm}^4$

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss:

Dicke $t_p = 25.0 \text{ mm}$, Breite $b_p = 300.0 \text{ mm}$, Länge $l_p = 495.0 \text{ mm}$

Überstände $h_{p,o} = 85.0 \text{ mm}$, $h_{p,u} = 20.0 \text{ mm}$

Schrauben im Anschluss:

3 Schraubenreihen mit je 2 Schrauben
 alle Schraubenreihen einzeln betrachtet
 Zugrand oben: Schraubengruppe mit 2 Reihen (1-2)
 Zugrand unten: keine Schraubengruppe
 alle Schraubenreihen zur Querkraftübertragung (Reihen 1-3)
 Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 75.0 \text{ mm}$
 Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 35.0 \text{ mm}$
 Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 90.0 \text{ mm}$
 Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum freien Rand der Stütze (Endreihe) $e_1' = 200.0 \text{ mm}$
 Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 120.0 \text{ mm}$, $p_{2-3} = 250.0 \text{ mm}$

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 8.0 \text{ mm}$
 Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 3.0 \text{ mm}$
 Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 8.0 \text{ mm}$

Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung bezogen auf die Systemachsen

Lk 1: $M_{b,Ed} = 200.00 \text{ kNm}$ $V_{b,Ed} = 270.00 \text{ kN}$

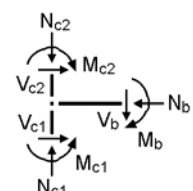
Materialsicherheitsbeiwerte

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 $\gamma_{M7} = 1.10$



Datencheck

ok

Abstände der Schraubenreihen am Stirnblech

horizontal:	$e_2 = 75.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,	$e_2 = 75.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 116.0 \text{ mm}$
horizontal:	$p_2 = 150.0 \text{ mm} > 2.4 \cdot d_0 = 62.4 \text{ mm}$,	$p_2 = 150.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$
vertikal:	$e_1 = 35.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,	$e_1 = 35.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 116.0 \text{ mm}$
vertikal:	$e_1 = 200.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,	$e_1 = 200.0 \text{ mm} > 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 116.0 \text{ mm} \quad !!$
vertikal:	$p_1 = 120.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 57.2 \text{ mm}$,	$p_1 = 120.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$
vertikal:	$p_1 = 250.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 57.2 \text{ mm}$,	$p_1 = 250.0 \text{ mm} > \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm} \quad !!$
vertikal:	$e_1 = 90.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,	$e_1 = 90.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 116.0 \text{ mm}$

Horizontaler Abstand der Schrauben vom Stützenrand

vertikal:	$e_1 = 75.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,	$e_1 = 75.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 116.0 \text{ mm}$
-----------	---	--

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

Hinweise

Die Querschnittsprofile werden nicht nachgewiesen.

Die Schweißnähte der Verbindung werden nicht nachgewiesen.

2. Lk 1

Hinweise

Es wird der Anschluss eines Trägers an eine durchlaufende Stütze nachgewiesen.

Zur vollständigen Bemessung einer Rahmenecke sind ggf. weitere Nachweise erforderlich.

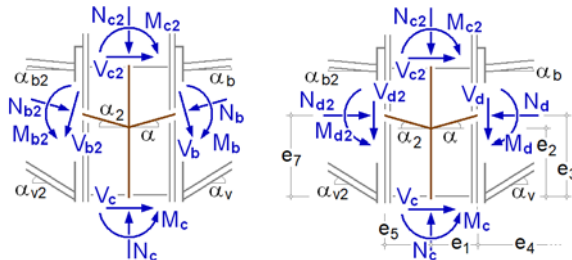
Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkräfte.

Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

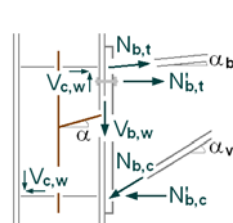
Die Berechnung der T-Stummel-Tragfähigkeit erfolgt mit dem Standard-Verfahren.

2.1. Bemessungsgrößen

Anschnitt Anschluss $\perp$ zur Anschlussebene



Teilschnittgrößen



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

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

Abstände: $e_1 = 150.0 \text{ mm}$, $e_3 = 185.5 \text{ mm}$, $e_2 = 185.5 \text{ mm}$

Transformation Anschlussgrößen $\rightarrow$ Bemessungsgrößen

$M_d = 200.00 \text{ kNm}$, $V_d = 270.00 \text{ kN}$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger

$M_d = 200.00 \text{ kNm}$, $V_d = 270.00 \text{ kN}$

Berechnung der Schnittgrößen am Anschnitt Stütze (oben)

$N_{c2} = N_c - V_d = -270.00 \text{ kN}$

$M_{c2} = M_c + V_c \cdot e_6 - M_d - V_d \cdot e_1 - N_d \cdot (e_6 - e_3) = -240.50 \text{ kNm}$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_d \cdot t_{ep} = 193.25 \text{ kNm}$

$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu} / z_b + M'_d / z_b = 520.89 \text{ kN}$, $z_b = 371.0 \text{ mm}$, $z_{bu} = 185.5 \text{ mm}$

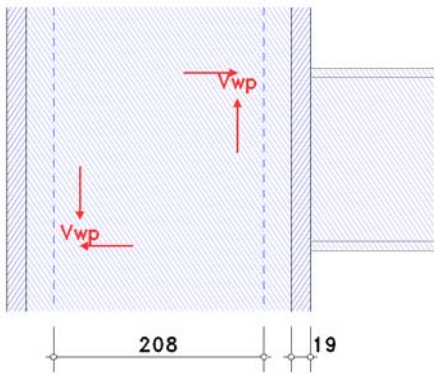
$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo} / z_b + M'_d / z_b = 520.89 \text{ kN}$, $z_b = 371.0 \text{ mm}$, $z_{bo} = 185.5 \text{ mm}$

2.2. Grundkomponenten

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

2.2.1. Gk 1: Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9)) $\beta_j = 1.00$ für $M_{j1} = 200.00 \text{ kNm}$ ($M_{j2} = 0$)



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

Voraussetzung

Schlankheit des Stützenstegs $d_c/t_{wc} = 18.91 < 69 \cdot \varepsilon = 69.00$, $\varepsilon = 1.00 \Rightarrow$ Verfahren anwendbar

Schubfläche

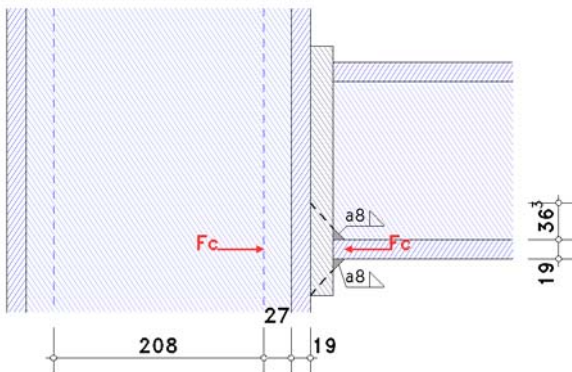
Schubfläche $A_v = 47.43 \text{ cm}^2$

plastische Schubtragfähigkeit

plastische Schubtragfähigkeit $V_{wp,Rd} = (0.9 \cdot f_{y,w} \cdot A_v) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 579.1 \text{ kN}$

2.2.2. Gk 2: Stützensteg mit Querdrukbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9)) $\beta_j = 1.00$ für $M_{j1} = 200.00 \text{ kNm}$ ($M_{j2} = 0$)



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

wirksame Breite

wirksame Breite des Stützenstegs für Querdruk $b_{eff,c} = t_{f,b} + 2 \cdot 2^{1/2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{f,c} + s_c) + s_p = 305.3 \text{ mm}$, $s_p = 33.7 \text{ mm}$

Längsdruckspannung im Steg

Abminderungsbeiwert $k_w = 1.0$ ($\sigma_{com,Ed} = 0$)

Plattenbeulen

Plattenschlankheitsgrad $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{eff,c} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 0.714$, $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen $\rho = 1$

Schubfläche

Schubfläche $A_v = 47.43 \text{ cm}^2$

Interaktion mit der Schubbeanspruchung

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0.778$

mit $\omega_1 = 1 / [1 + 1.3 \cdot (b_{eff,c} \cdot t_w / A_v)^2]^{1/2} = 0.778$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung

$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 614.07 \text{ kN}$, $f_{y,w} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 558.25 \text{ kN}$ (maßgebend)

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

wirksame Breite

wirksame Breite des Stützenstegs für Querdruk $b_{eff,c} = t_{f,b} + 2 \cdot 2^{1/2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{f,c} + s_c) + s_p = 321.6 \text{ mm}$, $s_p = 50.0 \text{ mm}$

Längsdruckspannung im Steg

Abminderungsbeiwert $k_w = 1.0$ ($\sigma_{com,Ed} = 0$)

Plattenbeulen

Plattenschlankheitsgrad $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{eff,c} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 0.733$, $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen $\rho = (\lambda_p - 0.2) / \lambda_p^2 = 0.992$

Schubfläche

Schubfläche $A_v = 47.43 \text{ cm}^2$

Interaktion mit der Schubbeanspruchung

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0.762$

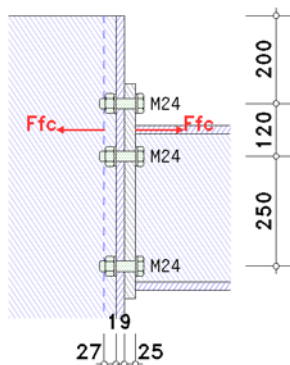
mit $\omega_1 = 1 / [1 + 1.3 \cdot (b_{eff,c} \cdot t_w / A_v)^2]^{1/2} = 0.762$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung

$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 633.32 \text{ kN}$, $f_{y,w} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 571.11 \text{ kN}$ (maßgebend)

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

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 75.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 47.9 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch)

(andere) äußere Schraubenreihe

$$l_{\text{eff,cp,a}} = \min(2 \cdot \pi \cdot m, \pi \cdot m + 2 \cdot e_1) = 301.0 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,nc,a}} = \min(4 \cdot m + 1.25 \cdot e, 2 \cdot m + 0.625 \cdot e + e_1) = 285.4 \text{ mm}$$

für Modus 1: $\Sigma l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff},1} = \min(l_{\text{eff,nc}}, l_{\text{eff,cp}}) = 285.4 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}} = 285.4 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$$n = \min(e_{\text{min}}, 1.25 \cdot m) = 59.9 \text{ mm}, \quad e_{\text{min}} = 75.0 \text{ mm}, \quad m = 47.9 \text{ mm}$$

aufnehmbare plastische Momente:

$$\text{für Modus 1+2: } M_{\text{pl,Rd}} = (0.25 \cdot \Sigma l_{\text{eff}} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{\text{M0}} = 6.05 \text{ kNm}, \quad t_f = 19.0 \text{ mm}, \quad f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2, \quad \gamma_{\text{M0}} = 1.00$$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

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

$$\text{für Modus 3: } \Sigma F_{\text{t,Rd}} = 2 \cdot n_b \cdot F_{\text{t,Rd}} = 508.32 \text{ kN}, \quad n_b = 1$$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem Standard-Verfahren

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{\text{T},1,\text{Rd}} = (4 \cdot M_{\text{pl},1,\text{Rd}}) / m = 505.38 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{\text{T},2,\text{Rd}} = (2 \cdot M_{\text{pl},2,\text{Rd}} + n \cdot \Sigma F_{\text{t,Rd}}) / (m+n) = 394.71 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

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

$$\text{Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: } F_{\text{T,Rd}} = \min(F_{\text{T},1,\text{Rd}}, F_{\text{T},2,\text{Rd}}, F_{\text{T},3,\text{Rd}}) = 394.71 \text{ kN}$$

Reihe 2

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 75.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 47.9 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch)

(andere) äußere Schraubenreihe

$$l_{\text{eff,cp,a}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 301.0 \text{ mm} \quad (e_1 = \infty)$$

$$l_{\text{eff,nc,a}} = 4 \cdot m + 1.25 \cdot e = 285.4 \text{ mm} \quad (e_1 = \infty)$$

für Modus 1: $\Sigma l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff},1} = \min(l_{\text{eff,nc}}, l_{\text{eff,cp}}) = 285.4 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}} = 285.4 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$$n = \min(e_{\text{min}}, 1.25 \cdot m) = 59.9 \text{ mm}, \quad e_{\text{min}} = 75.0 \text{ mm}, \quad m = 47.9 \text{ mm}$$

aufnehmbare plastische Momente:

$$\text{für Modus 1+2: } M_{\text{pl,Rd}} = (0.25 \cdot \Sigma l_{\text{eff}} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{\text{M0}} = 6.05 \text{ kNm}, \quad t_f = 19.0 \text{ mm}, \quad f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2, \quad \gamma_{\text{M0}} = 1.00$$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

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

$$\text{für Modus 3: } \Sigma F_{\text{t,Rd}} = 2 \cdot n_b \cdot F_{\text{t,Rd}} = 508.32 \text{ kN}, \quad n_b = 1$$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem Standard-Verfahren

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{\text{T},1,\text{Rd}} = (4 \cdot M_{\text{pl},1,\text{Rd}}) / m = 505.38 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{\text{T},2,\text{Rd}} = (2 \cdot M_{\text{pl},2,\text{Rd}} + n \cdot \Sigma F_{\text{t,Rd}}) / (m+n) = 394.71 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

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

$$\text{Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: } F_{\text{T,Rd}} = \min(F_{\text{T},1,\text{Rd}}, F_{\text{T},2,\text{Rd}}, F_{\text{T},3,\text{Rd}}) = 394.71 \text{ kN}$$

Reihe 3

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 75.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 47.9 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch)

(andere) innere Schraubenreihe

$$l_{\text{eff,cp,i}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 301.0 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},nc,i} = 4 \cdot m + 1.25 \cdot e = 285.4 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 1: } \Sigma l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff},1} = \min(l_{\text{eff},nc}, l_{\text{eff},cp}) = 285.4 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 2: } \Sigma l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},nc} = 285.4 \text{ mm}$$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$$n = \min(e_{\text{min}}, 1.25 \cdot m) = 59.9 \text{ mm}, \quad e_{\text{min}} = 75.0 \text{ mm}, \quad m = 47.9 \text{ mm}$$

aufnehmbare plastische Momente:

$$\text{für Modus 1+2: } M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{\text{eff}} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 6.05 \text{ kNm}, \quad t_f = 19.0 \text{ mm}, \quad f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2, \quad \gamma_{M0} = 1.00$$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

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

$$\text{für Modus 3: } \Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 508.32 \text{ kN}, \quad n_b = 1$$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem Standard-Verfahren

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 505.38 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 394.71 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

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

$$\text{Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: } F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 394.71 \text{ kN}$$

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

$$F_{t,fc,Rd,1} = 394.71 \text{ kN}, \quad l_{\text{eff},1} = 285.4 \text{ mm}$$

$$F_{t,fc,Rd,2} = 394.71 \text{ kN}, \quad l_{\text{eff},2} = 285.4 \text{ mm}$$

$$F_{t,fc,Rd,3} = 394.71 \text{ kN}, \quad l_{\text{eff},3} = 285.4 \text{ mm}$$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Gruppe von Schraubenreihen):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 2$

Reihe 1

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 75.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 47.9 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenreihen voneinander $p = 120.0 \text{ mm}$

(andere) äußere Schraubenreihe

$$l_{\text{eff},cp,a} = \min(\pi \cdot m + p, 2 \cdot e_1 + p) = 270.5 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},nc,a} = \min(2 \cdot m + 0.625 \cdot e + 0.5 \cdot p, e_1 + 0.5 \cdot p) = 202.7 \text{ mm}$$

Reihe 2

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 75.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 47.9 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenreihen voneinander $p = 120.0 \text{ mm}$

(andere) äußere Schraubenreihe

$$l_{\text{eff},cp,a} = \pi \cdot m + p = 270.5 \text{ mm} \quad (e_1 = \infty)$$

$$l_{\text{eff},nc,a} = 2 \cdot m + 0.625 \cdot e + 0.5 \cdot p = 202.7 \text{ mm} \quad (e_1 = \infty)$$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch)

$$\text{für Modus 1: } \Sigma l_{\text{eff},1} = \min(\Sigma l_{\text{eff},nc}, \Sigma l_{\text{eff},cp}) = 405.4 \text{ mm}, \quad \Sigma l_{\text{eff},cp} = 541.0 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 2: } \Sigma l_{\text{eff},2} = \Sigma l_{\text{eff},nc} = 405.4 \text{ mm}$$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$$n = \min(e_{\text{min}}, 1.25 \cdot m) = 59.9 \text{ mm}, \quad e_{\text{min}} = 75.0 \text{ mm}, \quad m = 47.9 \text{ mm}$$

aufnehmbare plastische Momente:

$$\text{für Modus 1+2: } M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{\text{eff}} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 8.60 \text{ kNm}, \quad t_f = 19.0 \text{ mm}, \quad f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2, \quad \gamma_{M0} = 1.00$$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

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

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

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem Standard-Verfahren

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 717.91 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 724.34 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

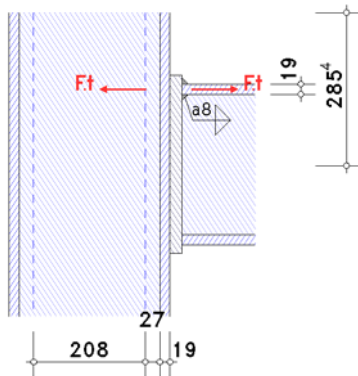
$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 1016.64 \text{ kN}$$

$$\text{Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: } F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 717.91 \text{ kN}$$

effektive Länge: $\Sigma l_{\text{eff}} = 405.4 \text{ mm}$, 2 Reihen

2.2.4. Gk 3: Stützensteg mit Querzugbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9)) $\beta_j = 1.00$ für $M_{j1} = 200.00 \text{ kNm}$ ($M_{j2} = 0$)



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

Für jede einzelne Schraubenreihe:

Reihe 1

wirksame Breite

wirksame Breite des Stützenstegs für Querkraft $b_{eff,t} = 285.4 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Schubfläche

Schubfläche $A_v = 47.43 \text{ cm}^2$

Interaktion mit der Schubbeanspruchung

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0.798$

mit $\omega_1 = 1 / [1 + 1.3 \cdot (b_{eff,t} \cdot t_w / A_v)^2]^{1/2} = 0.798$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkraft

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_w \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 588.8 \text{ kN}$, $f_{y,wc} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

Reihe 2

wirksame Breite

wirksame Breite des Stützenstegs für Querkraft $b_{eff,t} = 285.4 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Schubfläche

Schubfläche $A_v = 47.43 \text{ cm}^2$

Interaktion mit der Schubbeanspruchung

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0.798$

mit $\omega_1 = 1 / [1 + 1.3 \cdot (b_{eff,t} \cdot t_w / A_v)^2]^{1/2} = 0.798$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkraft

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_w \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 588.8 \text{ kN}$, $f_{y,wc} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

Reihe 3

wirksame Breite

wirksame Breite des Stützenstegs für Querkraft $b_{eff,t} = 285.4 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Schubfläche

Schubfläche $A_v = 47.43 \text{ cm}^2$

Interaktion mit der Schubbeanspruchung

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0.798$

mit $\omega_1 = 1 / [1 + 1.3 \cdot (b_{eff,t} \cdot t_w / A_v)^2]^{1/2} = 0.798$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkraft

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_w \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 588.8 \text{ kN}$, $f_{y,wc} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

Für eine Gruppe von Schraubenreihen:

wirksame Breite

wirksame Breite des Stützenstegs für Querkraft $b_{eff,t} = 405.4 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Schubfläche

Schubfläche $A_v = 47.43 \text{ cm}^2$

Interaktion mit der Schubbeanspruchung

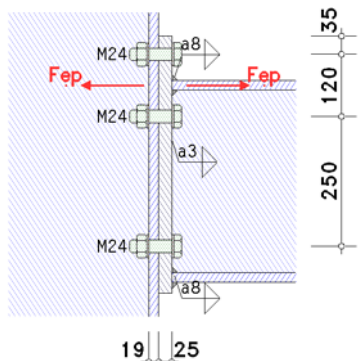
Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0.682$

mit $\omega_1 = 1 / [1 + 1.3 \cdot (b_{eff,t} \cdot t_w / A_v)^2]^{1/2} = 0.682$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkraft

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_w \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 714.8 \text{ kN}$, $f_{y,wc} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

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.

Überstehender Teil des Stirnblechs

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

Abstand der Schraubenachse vom Trägerflansch $m_1 = 40.9 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech)

$e_x = e_1 = 35.0 \text{ mm}$, $m_x = m_1 = 40.9 \text{ mm}$, $w = b_p - 2 \cdot e = 150.0 \text{ mm}$ mit $b_p = 300.0 \text{ mm}$, $e = 75.0 \text{ mm}$

äußere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch

$$l_{\text{eff,cp,sa}} = \min(2 \cdot \pi \cdot m_x, \pi \cdot m_x + w, \pi \cdot m_x + 2 \cdot e) = 257.3 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,nc,sa}} = \min(4 \cdot m_x + 1.25 \cdot e_x, e + 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x, 0.5 \cdot b_p, 0.5 \cdot w + 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x) = 150.0 \text{ mm}$$

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

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

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$$n = \min(e_{\text{min}}, 1.25 \cdot m) = 35.0 \text{ mm}, \quad e_{\text{min}} = 35.0 \text{ mm}, \quad m = 40.9 \text{ mm}$$

aufnehmbare plastische Momente:

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

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

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

$$\text{für Modus 3: } \Sigma F_{\text{t,Rd}} = 2 \cdot n_b \cdot F_{\text{t,Rd}} = 508.32 \text{ kN}, \quad n_b = 1$$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem Standard-Verfahren

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{\text{T},1,\text{Rd}} = (4 \cdot M_{\text{pl},1,\text{Rd}}) / m = 538.02 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{\text{T},2,\text{Rd}} = (2 \cdot M_{\text{pl},2,\text{Rd}} + n \cdot \Sigma F_{\text{t,Rd}}) / (m+n) = 379.29 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{\text{T,Rd}} = \min(F_{\text{T},1,\text{Rd}}, F_{\text{T},2,\text{Rd}}, F_{\text{T},3,\text{Rd}}) = 379.29 \text{ kN}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{\text{t,w,d}} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{\text{M2}}) = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{\text{T,w,Rd}} = 2^{1/2} \cdot f_{\text{t,w,d}} \cdot a \cdot l_{\text{eff}} = 610.94 \text{ kN}$ ($\geq 379.29 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

Tragfähigkeit und effektive Länge eines Stirnblechs mit Biegung (Überstand)

$$F_{\text{t,ep,Rd},1} = 379.29 \text{ kN}, \quad l_{\text{eff},1} = 150.0 \text{ mm}$$

Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 2

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 41.9 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 75.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 66.1 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech)

innere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch

Beiwert für ausgesteifte Stützenflansche/Stirnbleche:

$$\text{Eingabewerte } \lambda_1 = m / (m+e) = 0.468, \quad \lambda_2 = m_2 / (m+e) = 0.297 \Rightarrow \alpha = 6.63 \text{ (berechnet)}$$

$$l_{\text{eff,cp,si}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 415.4 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,nc,si}} = \alpha \cdot m = 438.6 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 1: } \Sigma l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff},1} = \min(l_{\text{eff,nc}}, l_{\text{eff,cp}}) = 415.4 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 2: } \Sigma l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}} = 438.6 \text{ mm}$$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$$n = \min(e_{\text{min}}, 1.25 \cdot m) = 75.0 \text{ mm}, \quad e_{\text{min}} = 75.0 \text{ mm}, \quad m = 66.1 \text{ mm}$$

aufnehmbare plastische Momente:

$$\text{für Modus 1: } M_{\text{pl},1,\text{Rd}} = (0.25 \cdot \Sigma l_{\text{eff},1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{\text{M0}} = 15.25 \text{ kNm}, \quad t_f = 25.0 \text{ mm}, \quad f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2, \quad \gamma_{\text{M0}} = 1.00$$

$$\text{für Modus 2: } M_{\text{pl},2,\text{Rd}} = (0.25 \cdot \Sigma l_{\text{eff},2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{\text{M0}} = 16.10 \text{ kNm}$$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

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

$$\text{für Modus 3: } \Sigma F_{\text{t,Rd}} = 2 \cdot n_b \cdot F_{\text{t,Rd}} = 508.32 \text{ kN}, \quad n_b = 1$$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem Standard-Verfahren

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{\text{T},1,\text{Rd}} = (4 \cdot M_{\text{pl},1,\text{Rd}}) / m = 922.84 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{\text{T},2,\text{Rd}} = (2 \cdot M_{\text{pl},2,\text{Rd}} + n \cdot \Sigma F_{\text{t,Rd}}) / (m+n) = 498.42 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{\text{T,Rd}} = \min(F_{\text{T},1,\text{Rd}}, F_{\text{T},2,\text{Rd}}, F_{\text{T},3,\text{Rd}}) = 498.42 \text{ kN}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{\text{t,w,d}} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{\text{M2}}) = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{\text{T,w,Rd}} = 2^{1/2} \cdot f_{\text{t,w,d}} \cdot a \cdot l_{\text{eff}} = 634.39 \text{ kN}$ ($\geq 498.42 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

Reihe 3

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 41.9 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 75.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 66.1 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech)

innere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch

Beiwert für ausgesteifte Stützenflansche/Stirnbleche:

$$\text{Eingabewerte } \lambda_1 = m / (m+e) = 0.468, \quad \lambda_2 = m_2 / (m+e) = 0.297 \Rightarrow \alpha = 6.63 \text{ (berechnet)}$$

$$l_{\text{eff,cp,si}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 415.4 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,nc,si}} = \alpha \cdot m = 438.6 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 1: } \Sigma l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff},1} = \min(l_{\text{eff,nc}}, l_{\text{eff,cp}}) = 415.4 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 2: } \Sigma l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}} = 438.6 \text{ mm}$$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$n = \min(e_{\min}, 1.25 \cdot m) = 75.0 \text{ mm}$, $e_{\min} = 75.0 \text{ mm}$, $m = 66.1 \text{ mm}$

aufnehmbare plastische Momente:

für Modus 1: $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 15.25 \text{ kNm}$, $t_f = 25.0 \text{ mm}$, $f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_{M0} = 1.00$

für Modus 2: $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 16.10 \text{ kNm}$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

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

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 508.32 \text{ kN}$, $n_b = 1$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem Standard-Verfahren

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 922.84 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 498.42 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 498.42 \text{ kN}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 634.39 \text{ kN}$ ($\geq 498.42 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

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

$F_{ep,Rd,2} = 498.42 \text{ kN}$, $l_{eff,2} = 415.4 \text{ mm}$

$F_{ep,Rd,3} = 498.42 \text{ kN}$, $l_{eff,3} = 415.4 \text{ mm}$

2.2.6. Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

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

Flansch unten: Querschnittsklasse für $c/(\varepsilon \cdot t) = 6.18$ (einseitig gestützt): 1

Steg: Querschnittsklasse für $\alpha = 0.50$ und $c/(\varepsilon \cdot t) = 27.09$ (beidseitig gestützt, Biegung): 1

Gesamt: Querschnittsklasse des Profils: 1

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion $V_{Ed} = 270.0 \text{ kN}$

plastisches Widerstandsmoment $W_{pl} = 2562.000 \text{ cm}^3$



Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft

$V_{pl,Rd} = A_v \cdot (f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0} = 777.8 \text{ kN}$, $A_v = 57.33 \text{ cm}^2$

$V_{Ed} = 270.0 \text{ kN} \leq 388.9 \text{ kN} = V_{pl,Rd} / 2 \Rightarrow$ kein Einfluss auf die Biegetragfähigkeit !

Beanspruchung für Querschnittsklasse 1

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 602.07 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 2562.00 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 1622.83 \text{ kN}$, $(h - t_f) = 371.0 \text{ mm}$

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft

$V_{pl,Rd} = A_v \cdot (f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0} = 777.8 \text{ kN}$, $A_v = 57.33 \text{ cm}^2$

$V_{Ed} = 270.0 \text{ kN} \leq 388.9 \text{ kN} = V_{pl,Rd} / 2 \Rightarrow$ kein Einfluss auf die Biegetragfähigkeit !

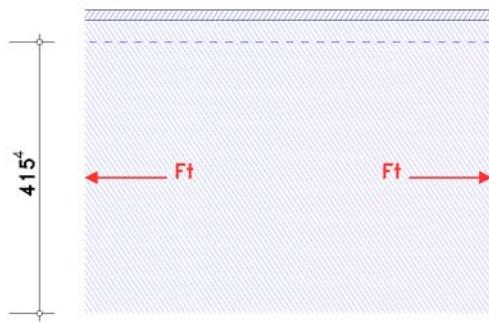
Beanspruchung für Querschnittsklasse 1

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 602.07 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 2562.00 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 1622.83 \text{ kN}$, $(h - t_f) = 371.0 \text{ mm}$

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 2

wirksame Breite

wirksame Breite des Trägerstegs mit Zugbeanspruchung $b_{eff,t,wb} = 415.4 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 1073.7 \text{ kN}$, $f_{y,wb} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

Reihe 3

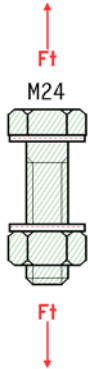
wirksame Breite

wirksame Breite des Trägerstegs mit Zugbeanspruchung $b_{eff,t,wb} = 415.4 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 1073.7 \text{ kN}$, $f_{y,wb} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

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.

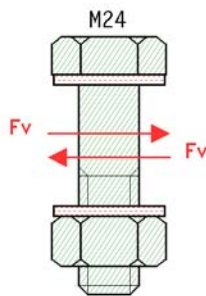
Schraubenkategorie D:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 254.16 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$, $f_{ub} = 1000.0 \text{ N/mm}^2$

Durchstantragfähigkeit: $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 444.55 \text{ kN}$, $d_m = 43.1 \text{ mm}$, $t_p = 19.0 \text{ mm}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$

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

2.2.9. Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung



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

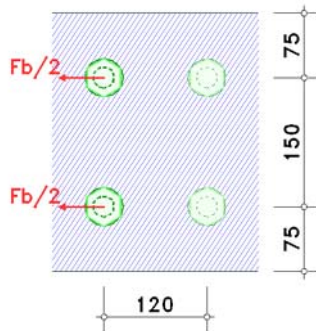
Schraubenkategorie A:

Schaft in der Scherfuge: $\alpha_v = 0.6$, $A = 4.52 \text{ cm}^2$

Abschertragfähigkeit je Scherfuge: $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 217.15 \text{ kN}$, $f_{ub} = 1000.0 \text{ N/mm}^2$

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

2.2.10. Gk 12: Blech mit Lochleibungsbeanspruchung



Reihe 1

Stirnblech (für $V_b \geq 0$):

Schraube 1:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_{d,a} = e_1/(3 \cdot d_0) = 0.45$ (am Rand liegende Schraube)

$\Rightarrow \alpha_b = 0.45$ (der kleinste Wert von α_d oder $f_{ub}/f_u = 2.78$ oder 1.0)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7 = 6.38$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2/d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7) = 6.38$ (am Rand liegende Schraube)

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

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 193.85 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 24.0 \text{ mm}$

Schraube 2:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_{d,a} = e_1/(3 \cdot d_0) = 0.45$ (am Rand liegende Schraube)

$\Rightarrow \alpha_b = 0.45$ (der kleinste Wert von α_d oder $f_{ub}/f_u = 2.78$ oder 1.0)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7 = 6.38$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2/d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7) = 6.38$ (am Rand liegende Schraube)

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

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 193.85 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 24.0 \text{ mm}$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 387.69 \text{ kN}$

Stützenflansch (für $V_b \geq 0$):

Schraube 1:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7 = 6.38$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2/d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7) = 6.38$ (am Rand liegende Schraube)

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

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 328.32 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 19.0 \text{ mm}$, $d = 24.0 \text{ mm}$

Schraube 2:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7 = 6.38$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2/d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7) = 6.38$ (am Rand liegende Schraube)

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

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 328.32 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 19.0 \text{ mm}$, $d = 24.0 \text{ mm}$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 656.64 \text{ kN}$

Reihe 2

Stirnblech (für $V_b \geq 0$):

Schraube 1:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_{d,i} = p_1/(3 \cdot d_0) - 1/4 = 1.29$ (innen liegende Schraube)

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

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7 = 6.38$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2/d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7) = 6.38$ (am Rand liegende Schraube)

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

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 432.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 24.0 \text{ mm}$

Schraube 2:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_{d,i} = p_1/(3 \cdot d_0) - 1/4 = 1.29$ (innen liegende Schraube)

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

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7 = 6.38$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2/d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7) = 6.38$ (am Rand liegende Schraube)

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

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 432.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 24.0 \text{ mm}$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 864.00 \text{ kN}$

Stützenflansch (für $V_b \geq 0$):

Schraube 1:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_{d,i} = p_1/(3 \cdot d_0) - 1/4 = 2.96$ (innen liegende Schraube)

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

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7 = 6.38$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2/d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7) = 6.38$ (am Rand liegende Schraube)

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

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 328.32 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 19.0 \text{ mm}$, $d = 24.0 \text{ mm}$

Schraube 2:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_{d,i} = p_1/(3 \cdot d_0) - 1/4 = 2.96$ (innen liegende Schraube)

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

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 6.38$ (innen liegende Schraube)
quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 6.38$ (am Rand liegende Schraube)
 $\Rightarrow k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)
Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 328.32 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 19.0 \text{ mm}$, $d = 24.0 \text{ mm}$
Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 656.64 \text{ kN}$

Reihe 3

Stirnblech (für $V_b \geq 0$):

Schraube 1:

in Kraftrichtung wirkend: $\alpha_{d,i} = p_1 / (3 \cdot d_0) - 1/4 = 2.96$ (innen liegende Schraube)

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

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 6.38$ (innen liegende Schraube)

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 6.38$ (am Rand liegende Schraube)

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

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 432.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 24.0 \text{ mm}$

Schraube 2:

in Kraftrichtung wirkend: $\alpha_{d,i} = p_1 / (3 \cdot d_0) - 1/4 = 2.96$ (innen liegende Schraube)

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

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 6.38$ (innen liegende Schraube)

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 6.38$ (am Rand liegende Schraube)

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

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 432.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 25.0 \text{ mm}$, $d = 24.0 \text{ mm}$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 864.00 \text{ kN}$

Stützenflansch (für $V_b \geq 0$):

Schraube 1:

in Kraftrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 6.38$ (innen liegende Schraube)

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 6.38$ (am Rand liegende Schraube)

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

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 328.32 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 19.0 \text{ mm}$, $d = 24.0 \text{ mm}$

Schraube 2:

in Kraftrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 6.38$ (innen liegende Schraube)

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 6.38$ (am Rand liegende Schraube)

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

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 328.32 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 19.0 \text{ mm}$, $d = 24.0 \text{ mm}$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 656.64 \text{ kN}$

Lochleibungstragfähigkeiten (3 Reihen)

$\Sigma F_{b,Rd,1} = 387.69 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,2} = 656.64 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,3} = 656.64 \text{ kN}$

2.3. Anschlusstragfähigkeit

2.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 430.5 \text{ mm}$, $h_2 = 310.5 \text{ mm}$, $h_3 = 60.5 \text{ mm}$

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

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 379.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 394.7 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 394.7 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stütze)

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

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

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,w,c,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 714.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 379.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 379.3 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,f,c,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 717.9 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 379.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 379.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 379.3 \text{ kN}$ (Reihe 1)

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,w,c,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 335.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 394.7 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 335.5 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,f,c,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 338.6 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 335.5 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 335.5 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 379.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 335.5 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 394.7 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 1109.5 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

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

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd} / \beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 579.1 \text{ kN}$, $F_{tr,Rd} = 379.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 379.3 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 558.2 \text{ kN}$, $F_{tr,Rd} = 379.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 379.3 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 1622.8 \text{ kN}$, $F_{tr,Rd} = 379.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 379.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 379.3 \text{ kN}$ (Reihe 1)

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 199.8 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 335.5 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 199.8 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 179.0 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 199.8 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 179.0 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 1243.5 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 179.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 179.0 \text{ kN}$

Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 558.2 \text{ kN}$ (Reihen 1 bis 2)

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 20.9 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 394.7 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 20.9 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 20.9 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 1064.6 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 379.3 \text{ kN}$, $h_x = 430.5 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 482.9 \text{ kN}$, keine Abminderung

Reihe 2: $F_{tx,Rd} = 179.0 \text{ kN}$, $h_x = 310.5 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 482.9 \text{ kN}$, keine Abminderung

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 379.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 179.0 \text{ kN}$

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

$\Sigma F_{tr,Rd} = 558.2 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 2, 3, 4, 5

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$\Sigma F_{c,Rd}^* = 579.1 \text{ kN}$

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 218.9 \text{ kNm}$

Zugtragfähigkeit

$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 1109.5 \text{ kN}$

Drucktragfähigkeit

$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 579.1 \text{ kN}$

2.3.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 387.7 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 387.7 \text{ kN} = 181.1 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.467$

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 434.3 \text{ kN} = 325.1 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.749$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 434.3 \text{ kN} = 434.3 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 1.000$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 181.1 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 325.1 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

$\Sigma F_{vr,Rd} = 940.4 \text{ kN}$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 940.4 \text{ kN}$

2.3.3. Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

$V_{wp,Rd}/\beta_j = 579.1 \text{ kN}$

2.3.4. Gesamt

$M_{j,Rd} = 218.9 \text{ kNm}$ $N_{j,t,Rd} = 1109.5 \text{ kN}$ $N_{j,c,Rd} = 579.1 \text{ kN}$ $V_{j,Rd} = 940.4 \text{ kN}$ $V_{wp,Rd}/\beta_j = 579.1 \text{ kN}$

2.4. Nachweise

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

2.4.1. Nachweis der Anschluss Tragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d = 200.00 \text{ kNm}$
senkr. z. Anschlussebene
Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 270.00 \text{ kN}$
paral. z. Anschlussebene
Schubkraft: $V_{c,w,Ed} = M_{d,w}/z - (V_{c1} - V_{c2})/2 = 553.66 \text{ kN}$, $M_{d,w} = 205.1 \text{ kNm}$, $z = 370.5 \text{ mm}$
im Stützensteg

Biegetragfähigkeit

$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.914 < 1$ **ok**

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

$V_{Ed}/V_{j,Rd} = 0.287 < 1$ **ok**

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

$V_{c,w,Ed}/(V_{wp,Rd}/\beta_j) = 0.956 < 1$ **ok**

2.4.2. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.956 < 1$ **ok**

2.5. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 2 Zug-Schraubenreihen:

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 1:

$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 30.72 \text{ mm}$, $l_{eff} = 150.0 \text{ mm}$, $m = 40.9 \text{ mm}$

$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 8.13 \text{ mm}$, $L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m)/2 = 69.5 \text{ mm}$, $t_{ges} = 44.0 \text{ mm}$

$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 10.56 \text{ mm}$, $b_{eff,t,wc} = 285.4 \text{ mm}$

$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_c^3 / m^3 = 16.03 \text{ mm}$, $l_{eff} = 285.4 \text{ mm}$, $m = 47.9 \text{ mm}$

$\Sigma(1/k_{i,1}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.313 \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 3.198 \text{ mm}$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 2:

$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 20.22 \text{ mm}$, $l_{eff} = 415.4 \text{ mm}$, $m = 66.1 \text{ mm}$

$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 8.13 \text{ mm}$, $L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m)/2 = 69.5 \text{ mm}$, $t_{ges} = 44.0 \text{ mm}$

$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 10.56 \text{ mm}$, $b_{eff,t,wc} = 285.4 \text{ mm}$

$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_c^3 / m^3 = 16.03 \text{ mm}$, $l_{eff} = 285.4 \text{ mm}$, $m = 47.9 \text{ mm}$

$\Sigma(1/k_{i,2}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.330 \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 3.034 \text{ mm}$

äquivalenter innerer Hebelarm: $z_{eq} = \Sigma(k_{eff,i} \cdot r_i^2) / \Sigma(k_{eff,i} \cdot r_i) = 381.7 \text{ mm}$

$k_{eq} = \Sigma(k_{eff,i} \cdot r_i) / z_{eq} = 6.075 \text{ mm}$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 1:

$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 4.86 \text{ mm}$, $\beta = 1.0$, $z = 370.5 \text{ mm}$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 2:

$k_2 = 0.7 \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 11.30 \text{ mm}$, $b_{eff,c,wc} = 305.3 \text{ mm}$

Summe der Steifigkeitskoeffizienten $\Sigma(1/k_i) = 1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_{eq} = 0.459$

Rotationssteifigkeit

Anfangsrotationssteifigkeit: $S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 66722.9 \text{ kNm/rad}$, $z = z_{eq} = 381.7 \text{ mm}$

Biegemoment im Anschluss: $M_{j,Ed} = M_{Ed} = 200.00 \text{ kNm}$

$|M_{j,Ed}| = 200.00 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,Rd} = 145.9 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^\Psi = 2.343$, $\Psi = 2.7$

Rotationssteifigkeit: $S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 28474.0 \text{ kNm/rad}$

Verdrehung: $\phi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.402^\circ$

3. Endergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.956 < 1$ **ok**

Minimale Rotationssteifigkeit: $\min S_j = 28.5 \text{ MNm/rad}$, $S_{j,ini} = 66.7 \text{ MNm/rad}$, $\phi_j = 0.402^\circ$

Nachweis erbracht

4. Ausgewählte Bemessungsparameter des nationalen Anhangs

DIN EN 1993-1-1 (EC 3)

Kapitel	Wert	Bedeutung
6.1(1)	$\gamma_{M0} = 1.00$ $\gamma_{M1} = 1.10$ $\gamma_{M2} = 1.25$	Teilsicherheitsbeiwerte für Baustahl Querschnittsversagen Stabilitätsversagen Bruchversagen infolge Zug bzw. Beanspruchbarkeit von Schrauben, Schweißnähten, Blechen auf Lochleibung

5. Vorschriften

DIN EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung;
Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010, Ausgabe Dezember 2010
DIN EN 1990/NA, Nationaler Anhang zur DIN EN 1990, Ausgabe Dezember 2010

DIN EN 1993-1-1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau;
Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009, Ausgabe Dezember 2010
DIN EN 1993-1-1/A1, Ergänzungen zur DIN EN 1993-1-1, Ausgabe Juli 2014
DIN EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang zur DIN EN 1993-1-1, Ausgabe September 2017

DIN EN 1993-1-8, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -
Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen;
Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009, Ausgabe Dezember 2010
DIN EN 1993-1-8/NA, Nationaler Anhang zur DIN EN 1993-1-8, Ausgabe Dezember 2010