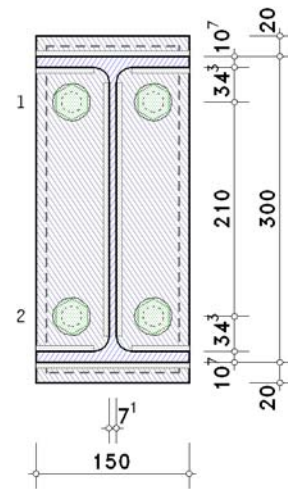
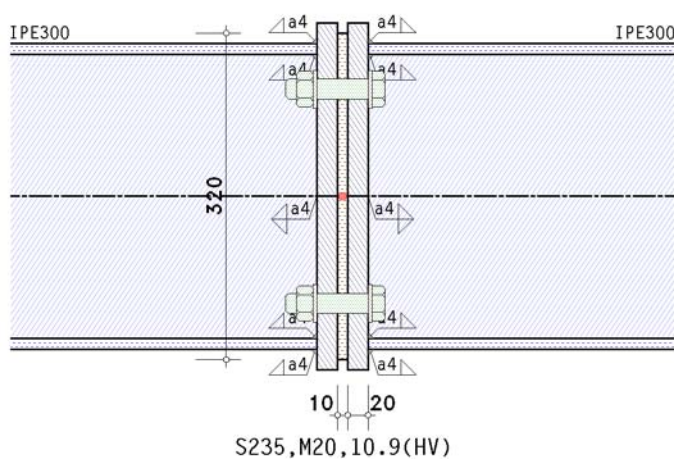
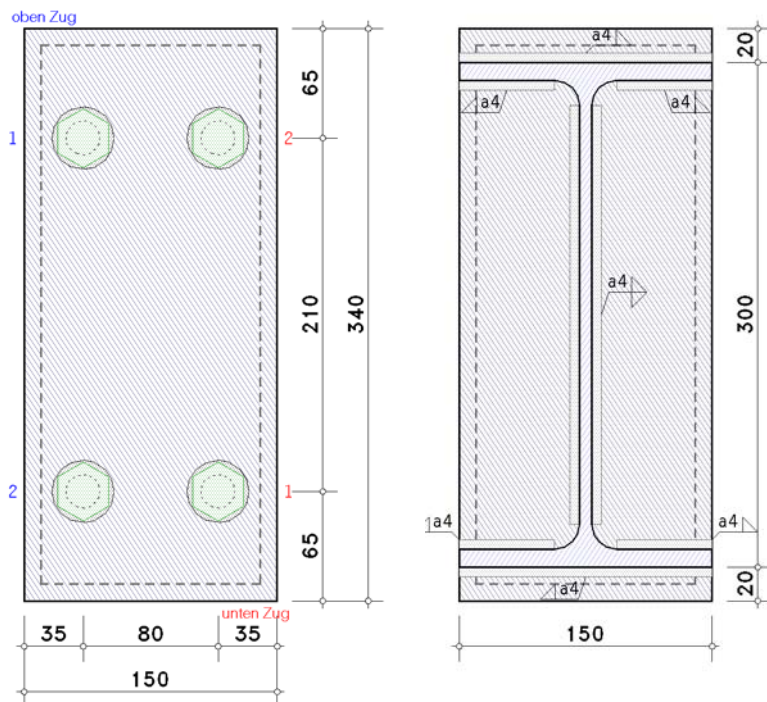


1. Eingabeprotokoll



Details



Stahlsorte

Stahlgüte S235

Schrauben

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M20

große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt (zur Info: Regelvorspannkraft $F_{p,c}^* = 0.7 \cdot f_{yb} \cdot A_s = 154.3 \text{ kN}$)

Schaft in der Scherfuge

Parameter des Trägers

Profil IPE300

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss

Stirnblech: Dicke $t_p = 20.0 \text{ mm}$, Breite $b_p = 150.0 \text{ mm}$, Länge $l_p = 340.0 \text{ mm}$

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

thermische Trennschicht (nach Art des Kerncompactlagers der Calenberg Ingenieure GmbH, Zulassung bis 2029):

Dicke $t_e = 10.0 \text{ mm}$, Breite $b_e = 130.0 \text{ mm}$, Länge $l_e = 320.0 \text{ mm}$

Randabstand $ü_e = 10.0 \text{ mm}$, Materialsicherheit $\gamma_e = 1.00$, Vorspannkraft je Schraube $F_{p,c} = 80.0 \text{ kN}$

Schrauben im Anschluss:

2 Schraubenreihen mit je 2 Schrauben

alle Schraubenreihen einzeln betrachtet

alle Schraubenreihen zur Querkraftübertragung (Reihen 1-2)

Schraubengruppen automatisch bilden, Berücks. der maßgebenden Gruppe

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 35.0 \text{ mm}$
 Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 65.0 \text{ mm}$
 Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 65.0 \text{ mm}$
 Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 210.0 \text{ mm}$

Schweißnähte im Anschluss:

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

Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen

Lk 1: Nr.8

$$N_{j,b,Ed} = -28.00 \text{ kN} \quad M_{j,b,Ed} = 42.00 \text{ kNm}$$

Materialsicherheitsbeiwerte

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

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

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.

Datencheck

ok

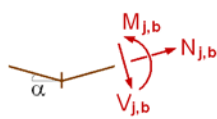
Schraubenabstände am Stirnblech

horizontal: $e_2 = 35.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_o = 26.4 \text{ mm}$, $e_2 = 35.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 120.0 \text{ mm}$
 horizontal: $p_2 = 80.0 \text{ mm} > 2.4 \cdot d_o = 52.8 \text{ mm}$, $p_2 = 80.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$
 oben-unten: $e_1 = 65.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_o = 26.4 \text{ mm}$, $e_1 = 65.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 120.0 \text{ mm}$
 oben-unten: $p_1 = 210.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_o = 48.4 \text{ mm}$, $p_1 = 210.0 \text{ mm} > \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm} \quad !!$
 oben-unten: $e_1 = 65.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_o = 26.4 \text{ mm}$, $e_1 = 65.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 120.0 \text{ mm}$
 Maximale Rand- und Lochabstände sollten zur Vermeidung von Korrosion sowie zur Verhinderung lokalen Beulens eingehalten werden.

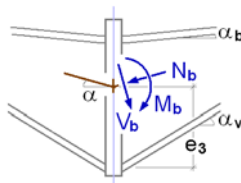
2. Lk 1: Nr.8

2.1. Bemessungsgrößen

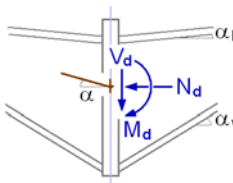
Knotenschnittgrößen



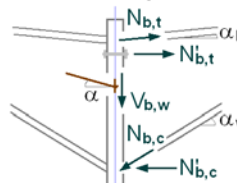
Anschnitt Anschluss



⊥ zur Anschlussebene



Teilschnittgrößen



Vorzeichendefinition der Statik: eine positive Normalkraft bedeutet Zug, ein positives Moment erzeugt unten Zug
 ⇒ Transformation nach EC3: eine positive Normalkraft bedeutet Druck, ein positives Moment erzeugt oben Zug

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

Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen (Eingabe Träger)

$$N_{j,b,Ed} = -28.00 \text{ kN}, \quad M_{j,b,Ed} = 42.00 \text{ kNm}$$

Transformation Statik-KoS -> EC3-KoS

$$N_{j,b,Ed} = 28.00 \text{ kN}, \quad M_{j,b,Ed} = -42.00 \text{ kNm}$$

Transformation Knotengrößen -> Anschlussgrößen

$$N_{b,Ed} = 28.00 \text{ kN}, \quad M_{b,Ed} = -42.00 \text{ kNm}$$

Transformation Anschlussgrößen -> Bemessungsgrößen

$$N_d = 28.00 \text{ kN}, \quad M_d = -42.00 \text{ kNm}$$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger

$$N_d = 28.00 \text{ kN}, \quad M_d = -42.00 \text{ kNm}$$

negatives Biegemoment $M_d \Rightarrow$ Modell wird gespiegelt

$$N_d = 28.00 \text{ kN}, \quad M_d = 42.00 \text{ kNm}$$

Teilschnittgrößen bezogen auf das gespiegelte Modell

$$\text{Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: } M'_d = M_d - V_d \cdot t_p = 42.00 \text{ kNm}$$

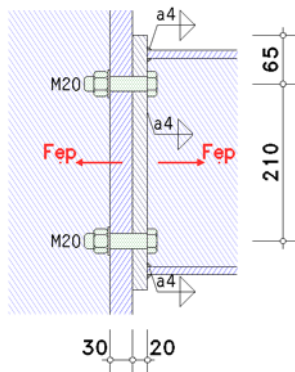
$$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b = 131.18 \text{ kN}, \quad z_b = 289.3 \text{ mm}, \quad z_{bu} = 144.6 \text{ mm}$$

$$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b = 159.18 \text{ kN}, \quad z_b = 289.3 \text{ mm}, \quad z_{bo} = 144.6 \text{ mm}$$

2.2. Grundkomponenten

Trägerstoß mit Stirnblech: Grundkomponenten: 5, 7, 8, 10, 11, 12, 15

2.2.1. 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

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 29.8 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 35.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 31.9 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech)

innere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch

Beiwert für ausgesteifte Stützenflansche/Stirnbleche:

Eingabewerte $\lambda_1 = m / (m+e) = 0.477$, $\lambda_2 = m_2 / (m+e) = 0.445 \Rightarrow \alpha = 5.91$ (berechnet)

$l_{\text{eff,cp,si}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 200.6 \text{ mm}$

$l_{\text{eff,nc,si}} = \alpha \cdot m = 188.8 \text{ mm}$

für Modus 1: $\Sigma l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff},1} = \min(l_{\text{eff,nc}}, l_{\text{eff,cp}}) = 188.8 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}} = 188.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$n = \min(e_{\text{min}}, 1.25 \cdot m) = 35.0 \text{ mm}$, $e_{\text{min}} = 35.0 \text{ mm}$, $m = 31.9 \text{ mm}$

aufnehmbare plastische Momente:

für Modus 1+2: $M_{\text{pl,Rd}} = (0.25 \cdot \Sigma l_{\text{eff}} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 4.44 \text{ kNm}$, $t_f = 20.0 \text{ mm}$, $f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_{M0} = 1.00$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.40 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$, $f_{ub} = 1000.0 \text{ N/mm}^2$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}$, $n_b = 1$

Dehnlänge einer Schraube $L_b = t_{\text{ges}} + t_p + (t_k + t_m)/2 = 68.8 \text{ mm}$, $t_{\text{ges}} = 50.0 \text{ mm}$

Grenzdehnlänge $L_b^* = (8.8 \cdot m^3 \cdot A_s \cdot n_b) / (\Sigma l_{\text{eff},1} \cdot t_f^3) = 46.5 \text{ mm}$, $n_b = 1$

$L_b = 68.8 \text{ mm} > 46.5 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ keine Abstützkräfte !

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

$F_{T,1-2,Rd} = (2 \cdot M_{\text{pl},1,Rd}) / m = 277.91 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 277.91 \text{ kN}$

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: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{\text{eff}} = 384.42 \text{ kN}$ ($\geq 277.91 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

Reihe 2

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 29.8 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 35.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 31.9 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech)

innere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch

Beiwert für ausgesteifte Stützenflansche/Stirnbleche:

Eingabewerte $\lambda_1 = m / (m+e) = 0.477$, $\lambda_2 = m_2 / (m+e) = 0.445 \Rightarrow \alpha = 5.91$ (berechnet)

$l_{\text{eff,cp,si}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 200.6 \text{ mm}$

$l_{\text{eff,nc,si}} = \alpha \cdot m = 188.8 \text{ mm}$

für Modus 1: $\Sigma l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff},1} = \min(l_{\text{eff,nc}}, l_{\text{eff,cp}}) = 188.8 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}} = 188.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$n = \min(e_{\text{min}}, 1.25 \cdot m) = 35.0 \text{ mm}$, $e_{\text{min}} = 35.0 \text{ mm}$, $m = 31.9 \text{ mm}$

aufnehmbare plastische Momente:

für Modus 1+2: $M_{\text{pl,Rd}} = (0.25 \cdot \Sigma l_{\text{eff}} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 4.44 \text{ kNm}$, $t_f = 20.0 \text{ mm}$, $f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_{M0} = 1.00$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.40 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$, $f_{ub} = 1000.0 \text{ N/mm}^2$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}$, $n_b = 1$

Dehnlänge einer Schraube $L_b = t_{\text{ges}} + t_p + (t_k + t_m)/2 = 68.8 \text{ mm}$, $t_{\text{ges}} = 50.0 \text{ mm}$

Grenzdehnlänge $L_b^* = (8.8 \cdot m^3 \cdot A_s \cdot n_b) / (\Sigma l_{\text{eff},1} \cdot t_f^3) = 46.5 \text{ mm}$, $n_b = 1$

$L_b = 68.8 \text{ mm} > 46.5 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ keine Abstützkräfte !

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

$$F_{T,1-2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 277.91 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}$$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 277.91 \text{ kN}$

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: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 384.42 \text{ kN}$ ($\geq 277.91 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

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

$$F_{ep,Rd,1} = 277.91 \text{ kN}, \quad l_{eff,1} = 188.8 \text{ mm}$$

$$F_{ep,Rd,2} = 277.91 \text{ kN}, \quad l_{eff,2} = 188.8 \text{ mm}$$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 2$

Reihe 1

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 29.8 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 35.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 31.9 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenreihen voneinander $p = 210.0 \text{ mm}$

innere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch

Beiwert für ausgesteifte Stützenflansche/Stirnbleche:

$$\text{Eingabewerte } \lambda_1 = m / (m+e) = 0.477, \quad \lambda_2 = m_2 / (m+e) = 0.445 \Rightarrow \alpha = 5.91 \text{ (berechnet)}$$

$$l_{eff,cp,si} = \pi \cdot m + p = 310.3 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc,si} = 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 208.0 \text{ mm}$$

Reihe 2

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 29.8 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 35.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 31.9 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenreihen voneinander $p = 210.0 \text{ mm}$

innere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch

Beiwert für ausgesteifte Stützenflansche/Stirnbleche:

$$\text{Eingabewerte } \lambda_1 = m / (m+e) = 0.477, \quad \lambda_2 = m_2 / (m+e) = 0.445 \Rightarrow \alpha = 5.91 \text{ (berechnet)}$$

$$l_{eff,cp,si} = \pi \cdot m + p = 310.3 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc,si} = 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 208.0 \text{ mm}$$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech)

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 416.1 \text{ mm}$, $\Sigma l_{eff,cp} = 620.6 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 416.1 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$n = \min(e_{min}, 1.25 \cdot m) = 35.0 \text{ mm}$, $e_{min} = 35.0 \text{ mm}$, $m = 31.9 \text{ mm}$

aufnehmbare plastische Momente:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 9.78 \text{ kNm}$, $t_f = 20.0 \text{ mm}$, $f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_{M0} = 1.00$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.40 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$, $f_{ub} = 1000.0 \text{ N/mm}^2$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 705.60 \text{ kN}$, $n_b = 2$

Dehnlänge einer Schraube $L_b = t_{ges} + t_p + (t_k + t_m) / 2 = 68.8 \text{ mm}$, $t_{ges} = 50.0 \text{ mm}$

Grenzdehnlänge $L_b^* = (8.8 \cdot m^3 \cdot A_s \cdot n_b) / (\Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^3) = 42.1 \text{ mm}$, $n_b = 2$

$L_b = 68.8 \text{ mm} > 42.1 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ keine Abstützkräfte!

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

$$F_{T,1-2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 612.58 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 705.60 \text{ kN}$$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 612.58 \text{ kN}$

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: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 847.35 \text{ kN}$ ($\geq 612.58 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

Tragfähigkeit und effektive Länge eines Stirnblechs mit Biegung (maßgebende Schraubengruppe)

$$F_{t,ep,Rd} = 612.58 \text{ kN}, \quad \Sigma l_{eff} = 416.1 \text{ mm}, \quad 2 \text{ Reihen}$$

2.2.2. Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

Querschnittsklasse des Trägers ($\varepsilon = 1.00$)

Der Beiwert α wird elastisch ermittelt.

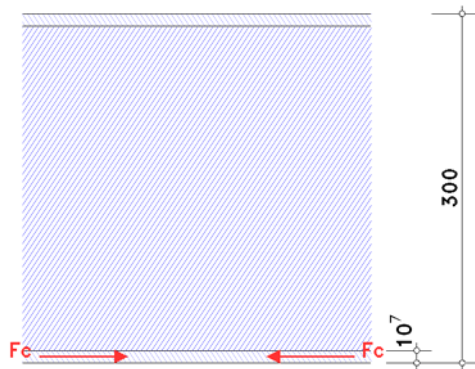
Flansch unten

Q-Klasse 1 für $\alpha = 1.000$, $c/t = 5.28$ (einseitig gestützt) $< 9.00 \cdot \varepsilon = 9.00$

Steg

Q-Klasse 1 für $c/t = 35.01$ (beidseitig gestützt, Druck+Biegung ($\psi = -0.85$)) $< 65.55 \cdot \varepsilon = 65.55$

Gesamt: Q-Klasse 1



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

Beanspruchung für Querschnittsklasse 1

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 147.65 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 628.29 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 510.36 \text{ kN}$, $(h - t_f) = 289.3 \text{ mm}$

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

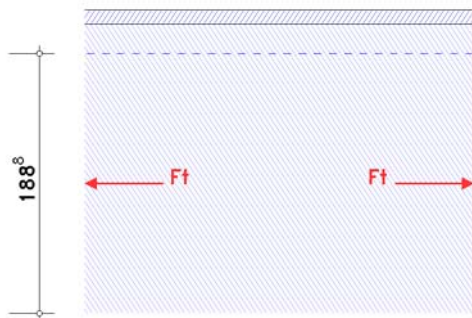
Beanspruchung für Querschnittsklasse 1

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 147.65 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 628.29 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 510.36 \text{ kN}$, $(h - t_f) = 289.3 \text{ mm}$

2.2.3. Gk 8: Trägersteg mit Zugbeanspruchung



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

Für jede einzelne Schraubenreihe:

Reihe 1

wirksame Breite

wirksame Breite des Trägerstegs mit Zugbeanspruchung $b_{eff,t,wb} = 188.8 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 315.0 \text{ kN}$, $f_{y,wb} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

Reihe 2

wirksame Breite

wirksame Breite des Trägerstegs mit Zugbeanspruchung $b_{eff,t,wb} = 188.8 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 315.0 \text{ kN}$, $f_{y,wb} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

Für eine Gruppe von Schraubenreihen maßgebend:

wirksame Breite

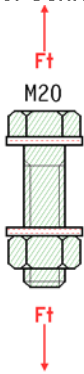
wirksame Breite des Trägerstegs mit Zugbeanspruchung $b_{eff,t,wb} = 416.1 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 694.2 \text{ kN}$, $f_{y,wb} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

2.2.4. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung

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



Schraubenkategorie D:

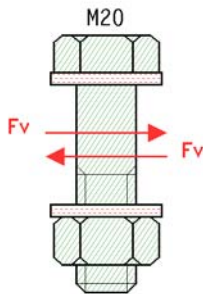
Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.40 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$, $f_{ub} = 1000.0 \text{ N/mm}^2$

Durchstantragfähigkeit: $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 363.88 \text{ kN}$, $d_m = 33.5 \text{ mm}$, $t_p = 20.0 \text{ mm}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$

Zug-/Durchstantragfähigkeit für 2 Schrauben: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 352.80 \text{ kN}$

2.2.5. Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung

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



Schraubenkategorie A:

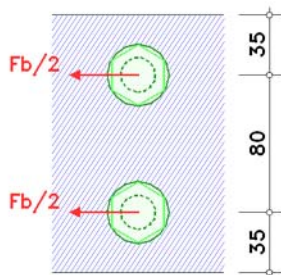
Schaft in der Scherfuge: $\alpha_v = 0.6$, $A = 3.14 \text{ cm}^2$

Abschertragfähigkeit je Scherfuge: $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 150.80 \text{ kN}$, $f_{ub} = 1000.0 \text{ N/mm}^2$

Abschertragfähigkeit für 2 Schrauben (1-schnittig): $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 301.59 \text{ kN}$

2.2.6. Gk 12: Blech mit Lochleibungsbeanspruchung

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



Reihe 1

Schraube 1:

in Kraftrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 3.39$ (innen liegende Schraube)

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 2.75$ (am Rand liegende Schraube)

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

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 288.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 20.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$

Schraube 2:

in Kraftrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 3.39$ (innen liegende Schraube)

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 2.75$ (am Rand liegende Schraube)

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

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 288.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 20.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 576.00 \text{ kN}$

Reihe 2

Schraube 1:

in Kraftrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 3.39$ (innen liegende Schraube)

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2/d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7) = 2.75$ (am Rand liegende Schraube)

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

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 288.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 20.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$
Schraube 2:

in Kraftrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7 = 3.39$ (innen liegende Schraube)

quer zur Kraftrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2/d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7) = 2.75$ (am Rand liegende Schraube)

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

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 288.00 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 20.0 \text{ mm}$, $d = 20.0 \text{ mm}$

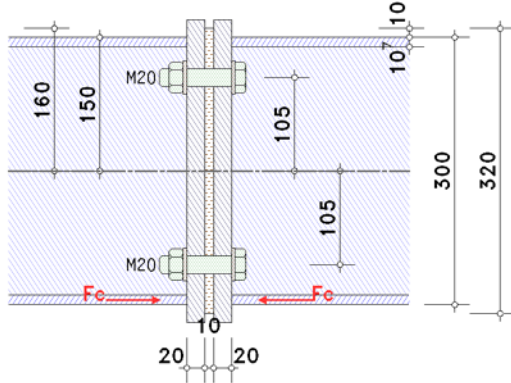
Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 576.00 \text{ kN}$

Lochleibungstragfähigkeiten (2 Reihen)

$\Sigma F_{b,Rd,1} = 576.00 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,2} = 576.00 \text{ kN}$

2.2.7. Gk 15: Stirnblech mit thermischer Trennschicht



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

Die Berechnung erfolgt für Baulager nach Art des Kerncompactlagers der Calenberg Ingenieure GmbH, Zulassung als Baulager bis 2029.

Das Berechnungsverfahren gilt ebenso für den Anschluss eines Stahlträgers an eine Stahlbetonstütze.

Die Schrauben werden mit dem Gewinde in der Scherfuge nachgewiesen.

Bei der Berechnung wird eine Vorspannkraft der Schrauben von $F_{p,c} = 80.0 \text{ kN}$ berücksichtigt.

effektive Trennschichtlänge:

Annahme: Schraubenzugkräfte gleichmäßig verteilt

charakteristische Schnittgrößen bzgl. der Trennschichtachse ($e = 0.0 \text{ mm}$) $N = 20.00 \text{ kN}$, $M = 30.00 \text{ kNm}$

elastische Spannungen (einschl. Vorspannung) oben/unten $\sigma_o = 5.35 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_u = -21.69 \text{ N/mm}^2$

Nulldurchgang bzgl. der Trennschichtachse $z_0 = -96.7 \text{ mm}$

Schraubenkraft im elastischen Zugbereich (1 Schraubenreihe) $\Sigma F_{r,i} = 22.0 \text{ kN}$, $\Sigma (F_{r,i} \cdot z_{r,i}) = -2.31 \text{ kNm}$

Vorspannkraft insgesamt $\Sigma F_{p,c} = n \cdot 2 \cdot F_{p,c} = 320.0 \text{ kN}$

effektive Trennschichtlänge $h_m = -2 \cdot (z + (M + \Sigma (F_{r,i} \cdot z_{r,i})) / (N + \Sigma F_{r,i} + \Sigma F_{p,c})) = 167.0 \text{ mm}$, $z = -160.0 \text{ mm}$

mittlere Druckspannung $\sigma_m = -(N + \Sigma F_{r,i} + \Sigma F_{p,c})^2 / (b_e [2 \cdot z \cdot (N + \Sigma F_{r,i} + \Sigma F_{p,c}) + 2 \cdot (M + \Sigma (F_{r,i} \cdot z_{r,i}))]) = 16.67 \text{ N/mm}^2$

Nachweis der Trennschicht:

Anzahl Schrauben im effektiven Druckbereich (1 Schraubenreihe) $n_d = 2$

Formfaktor $S = (h_m \cdot b_e \cdot n_d \cdot A_s) / (t_e \cdot (2 \cdot (h_m + b_e) + n_d \cdot U_s)) = 2.861$, $A_s = \pi \cdot (d + \Delta d)^2 / 4 = 380.1 \text{ mm}^2$, $U_s = \pi \cdot (d + \Delta d) = 69.1 \text{ mm}$

zulässige mittlere Druckspannung $\sigma_{md,zul} = 16.2 \cdot S^{0.75} = 35.64 \text{ N/mm}^2 < 42 \text{ N/mm}^2$

Bemessungsspannung $\sigma_{md} = 23.34 \text{ N/mm}^2$

Auslastung der Trennschicht $\sigma_{md} / \sigma_{md,zul} = 0.655 < 1$ ok

Tragfähigkeit eines Stirnblechstoßes mit thermischer Trennschicht:

effektive Breite der Trennschicht $b_{eff} = t_{fb} + 2^{1/2} \cdot a_p + 1.25 \cdot t_p + t_e / 2 + \bar{u}_b = 56.4 \text{ mm}$, $\bar{u}_b = 10.0 \text{ mm}$, $a_p = 4.0 \text{ mm}$

effektive Fläche der Trennschicht $A_{eff} = b_e \cdot b_{eff} = 73.26 \text{ cm}^2$

$F_{c,e,Rd} = A_{eff} \cdot f_e / \gamma_{Me} = 186.5 \text{ kN}$, $f_e = \sigma_{m,zul} = 25.46 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_{Me} = 1.00$

2.3. Anschlusstragfähigkeit

2.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 249.6 \text{ mm}$, $h_2 = 39.6 \text{ mm}$

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

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

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

Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 612.6 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN}$

Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 694.2 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN}$ (Reihe 1)

Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 334.7 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN}$

Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 416.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 555.8 \text{ kN}$$

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

maßgebende Grundkomponente: 7, 15

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

$$\text{Gk 7: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 510.4 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 15: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,e,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 186.5 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 186.5 \text{ kN}$$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 186.5 \text{ kN}$ (Reihe 1)

$$\text{Gk 7: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 323.9 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 15: } \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,e,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 277.9 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$$

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

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 186.5 \text{ kN}$, $h_x = 249.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 335.2 \text{ kN}$, keine Abminderung

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 186.5 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{tr,Rd} = 186.5 \text{ kN}$$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 5, 15

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$$\Sigma F_{c,Rd}^* = 373.0 \text{ kN}$$

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$$M_{j,Rd} = \Sigma (F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 46.6 \text{ kNm}$$

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 555.8 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 373.0 \text{ kN}$$

2.3.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

$$\text{Reihe 1: } F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 187.7 \text{ kN} \quad \text{mit } f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.622$$

$$\text{Reihe 2: } F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 301.6 \text{ kN} \quad \text{mit } f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 1.000$$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (endgültig)

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 187.7 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{vr,Rd} = 489.3 \text{ kN}$$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 489.3 \text{ kN}$$

2.3.3. Gesamt

$$M_{j,Rd} = 46.6 \text{ kNm} \quad N_{j,t,Rd} = 555.8 \text{ kN} \quad N_{j,c,Rd} = 373.0 \text{ kN} \quad V_{j,Rd} = 489.3 \text{ kN}$$

2.4. Nachweise

Innerer Hebelarm für einen geschraubten Stirnblechanschluss mit 2 Zug-Schraubenreihen:

äquivalenter innerer Hebelarm:

$$1: k_s = 41.77 \text{ mm}, k_{t0} = 5.43 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma (1/k_{i,1}) = 4.307 \text{ mm}$$

$$2: k_s = 41.77 \text{ mm}, k_{t0} = 5.43 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma (1/k_{i,2}) = 4.307 \text{ mm}$$

$$z_{eq} = \Sigma (k_{eff,i} \cdot h_r^2) / \Sigma (k_{eff,i} \cdot h_r) = 220.9 \text{ mm}$$

2.4.1. Nachweis der Anschlussfähigkeit mit der Komponentenmethode

Normalkraft: $N_{b,Ed} = |N_d| = 28.00 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 63.23 \text{ kN} \Rightarrow$ Biegetragfähigkeit

bzgl. der Trägerachse mit $N_{pl,Rd} = A_b \cdot f_{yb} / \gamma_{M0} = 1264.58 \text{ kN}$

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu} = 37.95 \text{ kNm}$, $z_{bu} = 144.6 \text{ mm}$

bzgl. des Druckpunkts

Biegetragfähigkeit

$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.815 < 1$ **ok**

2.4.2. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.815 < 1$ **ok**

3. Endergebnis

Thermische Trennschicht: $\max U_e = 0.655 < 1$ **ok**

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.815 < 1$ **ok**

Nachweis erbracht

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 1993-1-1:2005 + AC:2009, Ausgabe Dezember 2010
EN 1993-1-1/A1, Ergänzungen zur EN 1993-1-1, Ausgabe Juli 2014
EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-1, Ausgabe Dezember 2018

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
EN 1993-1-8/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-8, Ausgabe Dezember 2010

Druckschrift Kerncompactlager, Calenberg Ingenieure GmbH, Salzhemmendorf,
www.calenberg-ingenieure.de