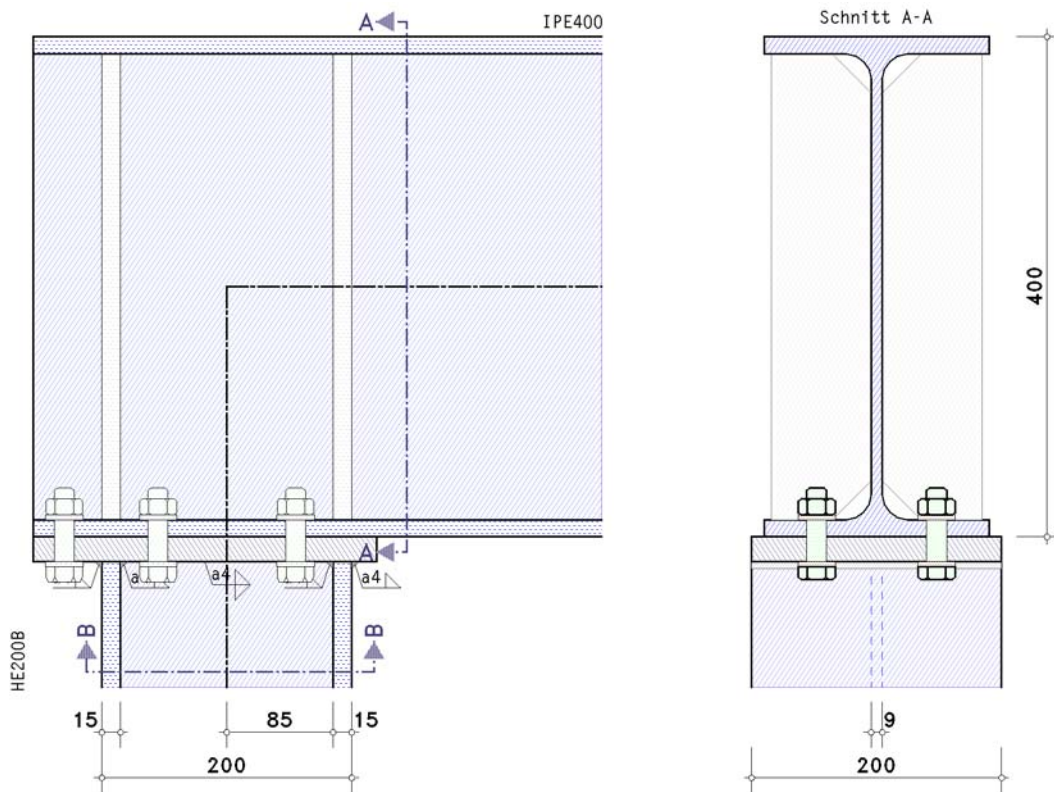


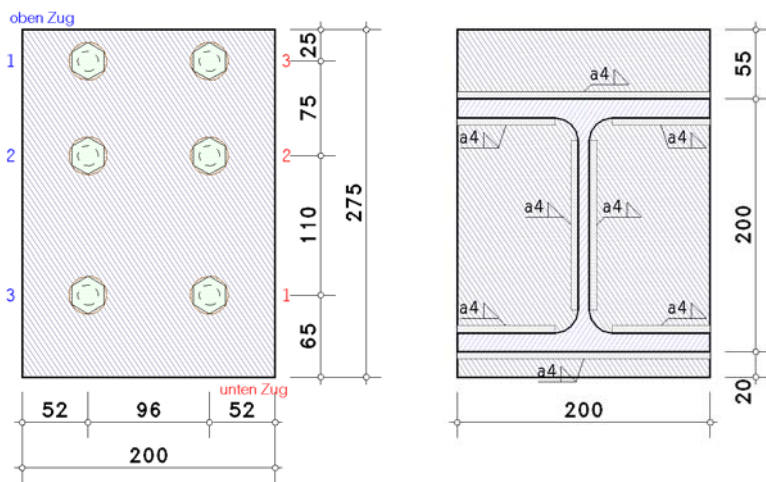
POS. 5: KAHLMEYER 7.3.1

Rahmenecke

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



Details (Schnitt B-B)



Stahlsorte

Stahlgüte S 235

Parameter der Stütze

Profil HE200B

Parameter des Trägers

Profil IPE400

Schrauben

Schraube, Festigkeitsklasse 10.9,
große Schlüsselweite

Abmessungen:

Schaftdurchmesser $d = 16.0 \text{ mm}$, Nennlochspiel $\Delta d = 1.0 \text{ mm} \Rightarrow$ Lochdurchmesser $d_0 = 17.0 \text{ mm}$

Bruttoquerschnittsfläche (Schaft) $A = 2.011 \text{ cm}^2$

Spannungsquerschnittsfläche $A_s = 1.570 \text{ cm}^2$

Durchmesser des Schraubenkopfes (Schlüsselweite) $d_s = 27.0 \text{ mm}$

Durchmesser des Schraubenkopfes (Eckenmaß) $d_e = 29.56 \text{ mm}$



Schraubenkopfhöhe $t_k = 10.0$ mm
 Höhe der Mutter $t_m = 13.0$ mm
 Durchmesser der Unterlegscheibe $d_p = 30.0$ mm
 Blechdicke der Unterlegscheibe $t_p = 4.0$ mm

Schaft liegt in der Scherfuge

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss (liegend):

Dicke $t_p = 20.0$ mm, Länge $l_p = 275.0$ mm, Breite $b_p = 200.0$ mm
 Überstände $h_{p,o} = 55.0$ mm, $h_{p,u} = 20.0$ mm

Schrauben im Anschluss:

3 Schraubenreihe(n) mit je 2 Schrauben
 davon 2 Schraubenreihen oben (M^+) unter Zugbelastung (Reihen 1-2)
 und 3 Schraubenreihen zur Querkraftübertragung bei Zug oben (Reihen 1-3)
 davon 1 Schraubenreihe unten (M^-) unter Zugbelastung (Reihe 3)
 und 3 Schraubenreihen zur Querkraftübertragung bei Zug unten (Reihen 1-3)

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 52.0$ mm

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 25.0$ mm

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 65.0$ mm

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum freien Rand der Stütze (Endreihe) $e_1' = 25.0$ mm

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 75.0$ mm, $p_{2-3} = 110.0$ mm

Schweißnähte im Anschluss:

Stützenflansch oben (links): Kehlnaht, Nahtdicke $a = 4.0$ mm

Stützensteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 4.0$ mm

Stützenflansch unten (rechts): Kehlnaht, Nahtdicke $a = 4.0$ mm

Schnittgrößen im Knotenpunkt der Systemachsen

Lk 1: $N_{j,b1,Ed} = -3.43$ kN $M_{j,b1,Ed} = -47.56$ kNm $V_{j,b1,Ed} = 87.57$ kN

Teilsicherheitsbeiwerte

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

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

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

Hinweise

Die Berechnung einer Rahmenecke mit liegendem Anschluss (Variante 2) erfolgt für das gedrehte Modell, d.h. nachfolgend sind Träger und Stütze sowie die Schnittgrößen vertauscht.

Die Querschnittsprofile im Bereich des Anschlusses werden nicht nachgewiesen.

Platten- und Schubbeulen wird nicht untersucht.

Komponentenmethode

Abstände der Schraubenreihen am Stirnblech

Randabstand: $e_2 = 52.0$ mm $> 1.2 \cdot d_0 = 20.4$ mm,

$e_2 = 52.0$ mm $< 4 \cdot t_{\min} + 40$ mm = 94.0 mm

Lochabstand: $p_2 = 200.0$ mm $> 2.4 \cdot d_0 = 40.8$ mm,

$p_2 = 200.0$ mm $> \min(14 \cdot t_{\min}, 200$ mm) = 189.0 mm !!

Randabstand: $e_1 = 25.0$ mm $> 1.2 \cdot d_0 = 20.4$ mm,

$e_1 = 25.0$ mm $< 4 \cdot t_{\min} + 40$ mm = 94.0 mm

Lochabstand: $p_1 = 75.0$ mm $> 2.2 \cdot d_0 = 37.4$ mm,

$p_1 = 75.0$ mm $< \min(14 \cdot t_{\min}, 200$ mm) = 189.0 mm

Lochabstand: $p_1 = 110.0$ mm $> 2.2 \cdot d_0 = 37.4$ mm,

$p_1 = 110.0$ mm $< \min(14 \cdot t_{\min}, 200$ mm) = 189.0 mm

Randabstand: $e_1 = 65.0$ mm $> 1.2 \cdot d_0 = 20.4$ mm,

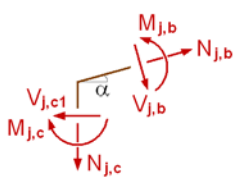
$e_1 = 65.0$ mm $< 4 \cdot t_{\min} + 40$ mm = 94.0 mm

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

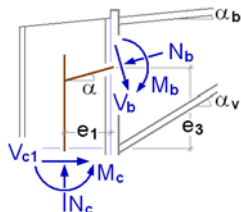
Lk 1:

Bemessungsgrößen

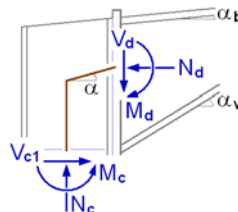
Knotenschnittgrößen



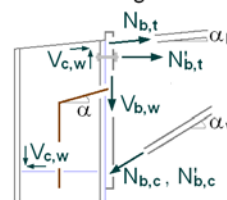
Anschnitt Anschluss



⊥ zur Anschlussebene



Teilschnittgrößen



Trägerschnittgrößen

$N_{j,b,Ed} = -87.57$ kN

$V_{j,b,Ed} = -3.43$ kN

$M_{j,b,Ed} = -46.81$ kNm

Schnittgrößen im Anschluss bezogen auf die Systemachsen

$N_{b,Ed} = -N_{j,b,Ed} = 87.57$ kN

$M_{b,Ed} = -M_{j,b,Ed} - V_{j,b,Ed} \cdot e_1 / \cos(\alpha) = 47.49$ kNm, $e_1 = 200.0$ mm

$V_{b,Ed} = V_{j,b,Ed} = -3.43$ kN



Anschnitt Stütze (unten):

$$N_{c,Ed} = N_{b,Ed} \cdot \sin(\alpha) + V_{b,Ed} \cdot \cos(\alpha) = -3.43 \text{ kN}$$

$$V_{c,Ed} = N_{b,Ed} \cdot \cos(\alpha) - V_{b,Ed} \cdot \sin(\alpha) = 87.57 \text{ kN}$$

$$M_{c,Ed} = M_{b,Ed} - V_{c,Ed} \cdot e_3 + N_{c,Ed} \cdot e_1 = 38.71 \text{ kNm}, \quad e_1 = 200.0 \text{ mm}, \quad e_3 = 92.5 \text{ mm}$$

Schnittgrößen senkrecht zur Anschlussebene

$$N_d = N_{b,Ed} = 87.57 \text{ kN}$$

$$M_d = M_{b,Ed} = 47.49 \text{ kNm}$$

$$V_d = V_{b,Ed} = -3.43 \text{ kN}$$

Teilschnittgrößen

$$\text{Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: } M'_d = M_d - V_d \cdot t_{ep} = 47.56 \text{ kNm}$$

$$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b = 213.30 \text{ kN}, \quad z_b = 185.0 \text{ mm}, \quad z_{bu} = 92.5 \text{ mm}$$

$$N_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b) = 300.87 \text{ kN}, \quad z_b = 185.0 \text{ mm}, \quad z_{bo} = 92.5 \text{ mm}$$

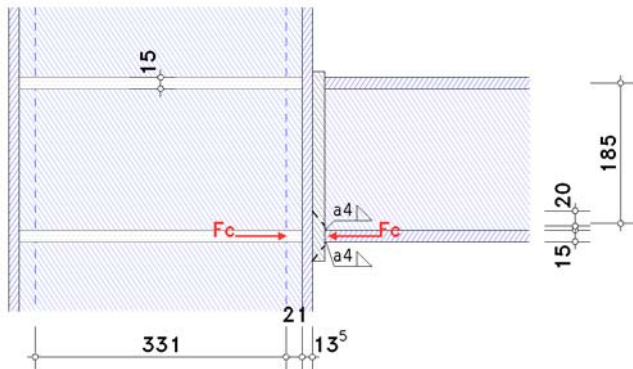
Grundkomponenten

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

Grundkomponente 2: Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung

Übertragungsparameter (Tabelle 5.4) $\beta = 1.0$

Maximale Längsdruckspannung im Stützensteg $\sigma_{com,Ed} = 27.28 \text{ N/mm}^2$



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

Verstärkung des Stlegs durch Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: $c/t = 5.3 \cdot \epsilon \leq 9 \cdot \epsilon \Rightarrow$ Q-Klasse 1 \leq 2 **ok.**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfeldes (Abstand der Steifen) $a = 185.0 \text{ mm}$

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

Trägheitsmoment der Steifen $I_{st} = 599.08 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für $a/h_{wc} = 0.50 < 2^{1/2}$: $I_{st,min} = 144.67 \text{ cm}^4 < I_{st}$ **ok.**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen $I_T = 9.00 \text{ cm}^4$

polares Trägheitsmoment der Steifen $I_p = 66.25 \text{ cm}^4$

$I_T / I_p \approx 0.136 > 0.006 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st}$ **ok.**

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stlegs mit Querdruckbeanspruchung:

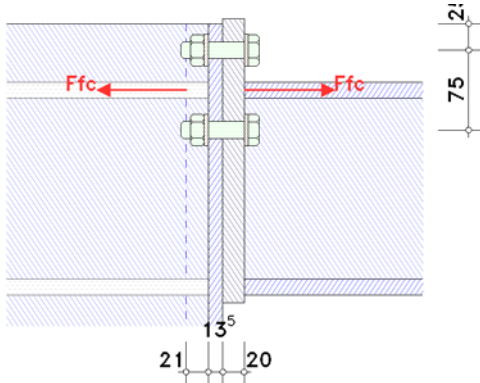
Fläche der Steifen einschl. Steg $A_{st} = 25.29 \text{ cm}^2$

Schlankheitsgrad $\lambda = 0.082$

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

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken $F_{c,w,Rd} = 540.3 \text{ kN}$

Grundkomponente 4: Stützenflansch mit Biegung



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

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe maßgebend):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 1

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 120.8 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 134.5 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 120.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 1.29 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 226.08 \text{ kN}$

$L_b = 53.0 \text{ mm} \leq 90.5 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs (Verfahren 1)

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 192.33 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 168.34 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 226.08 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 168.34 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 169.0 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 169.0 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 175.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1: $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 1.81 \text{ kNm}$

für Modus 2: $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 1.88 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 226.08 \text{ kN}$

$L_b = 53.0 \text{ mm} \leq 64.7 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs (Verfahren 1)

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 269.10 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 187.82 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 226.08 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 187.82 \text{ kN}$

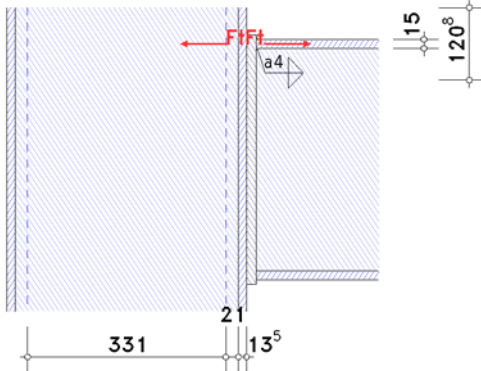
Tragfähigkeiten eines Stützenflanschs mit Biegung (je Schraubenreihe)

$F_{fc,Rd,1} = 168.3 \text{ kN}$, zugeh. $l_{eff} = 120.8 \text{ mm}$

$F_{fc,Rd,2} = 187.8 \text{ kN}$, zugeh. $l_{eff} = 175.8 \text{ mm}$

Grundkomponente 3: Stützensteg mit Querzugbeanspruchung

Übertragungsparameter (Tabelle 5.4) $\beta = 1.0$



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

Jede einzelne Schraubenreihe maßgebend:

Reihe 1

wirksame Breite $b_{eff,t} = 120.8 \text{ mm}$ (Σ_{leff} aus Gk 4)

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.964$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 235.2 \text{ kN}$$

Reihe 2

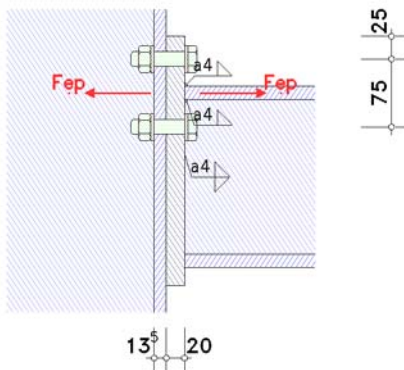
wirksame Breite $b_{eff,t} = 175.8 \text{ mm}$ (Σ_{leff} aus Gk 4)

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.927$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 329.5 \text{ kN}$$

Grundkomponente 5: Stirnblech mit Biegung



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

Überstehender Teil des Stirnblechs

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

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma_{leff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 100.0 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 160.1 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma_{leff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 100.0 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma_{leff,t} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 2.35 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 226.08 \text{ kN}$

$L_b = 53.0 \text{ mm} > 28.6 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ keine Abstützkräfte!

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

$$F_{T,1-2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 184.50 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 226.08 \text{ kN}$$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 184.50 \text{ kN}$

Tragfähigkeit eines Stirnblechs mit Biegung (Überstand)

$$F_{t,ep,Rd,1} = 184.5 \text{ kN, zugeh. } l_{eff} = 100.0 \text{ mm}$$

Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe maßgebend):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma_{leff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 244.9 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 244.9 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma_{leff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 272.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1: $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma_{leff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.75 \text{ kNm}$

für Modus 2: $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma_{leff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 6.41 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 226.08 \text{ kN}$

$L_b = 53.0 \text{ mm} > 41.8 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ keine Abstützkräfte !

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

$F_{T,1-2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 295.31 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 226.08 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 226.08 \text{ kN}$

Tragfähigkeiten eines Stirnblechs mit Biegung (je Schraubenreihe):

$F_{ep,Rd,2} = 226.1 \text{ kN}$, zugeh. $l_{eff} = 244.9 \text{ mm}$

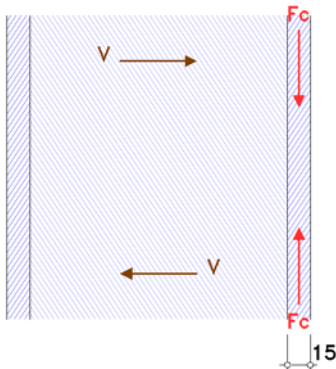
Grundkomponente 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

Flansch unten: Querschnittsklasse für $c/(\varepsilon \cdot t) = 5.17: 1$

Steg: Querschnittsklasse für $\alpha = 0.60$ und $c/(\varepsilon \cdot t) = 14.89: 1$

Querschnittsklasse des Trägers in der Anschlussebene: 1

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion $V_{Ed} = 3.4 \text{ kN}$



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

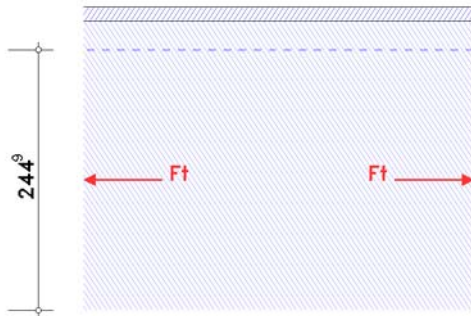
Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 3.4 \text{ kN} \leq 168.5 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss

Biegetragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 151.10 \text{ kNm}$

Tragfähigkeit eines Flanschs und Stegs mit Druck

$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 816.78 \text{ kN}$

Grundkomponente 8: Trägersteg mit Zugbeanspruchung



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

Jede einzelne Schraubenreihe maßgebend:

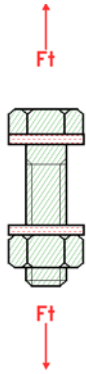
Reihe 2

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 244.9 \text{ mm}$ (Σl_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 517.9 \text{ kN}$

Grundkomponente 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



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

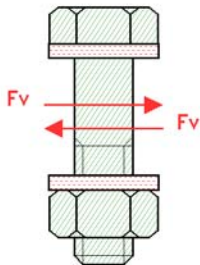
Schraubenkategorie D:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 113.04 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$

Durchstanztragfähigkeit: $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 207.26 \text{ kN}$, $t_p = 13.5 \text{ mm}$

Zug-/Durchstanztragfähigkeit für 2 Schrauben: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 226.08 \text{ kN}$

Grundkomponente 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung



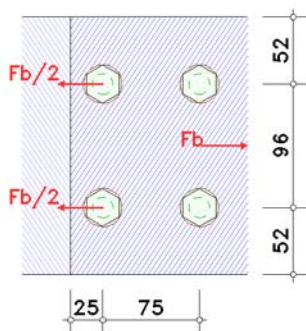
In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Schraubenkategorie A:

Abschertragfähigkeit je Scherfuge: $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 96.51 \text{ kN}$, $\alpha_v = 0.60$

Abschertragfähigkeit für 2 Schrauben: $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 193.02 \text{ kN}$

Grundkomponente 12: Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung



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

Lochleibungswiderstand: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 76.24 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.49$

Lochleibungstragfähigkeit für 2 Schrauben je Reihe: $\Sigma F_{b,Rd} = 2 \cdot F_{b,Rd} = 152.47 \text{ kN}$

Anschluss­tragfähigkeit

Biege-/Zugtragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihe(n) vom Druckpunkt:

$h_1 = 222.5 \text{ mm}$, $h_2 = 147.5 \text{ mm}$

Tragfähigkeiten nach 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 168.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 187.8 \text{ kN}$

Abminderungen nach 6.2.7.2(7)

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

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

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 540.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 168.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 168.3 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,fb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 816.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 168.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 168.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 168.3 \text{ kN}$ (Reihe 1)

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 371.9 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 187.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 187.8 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,fb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 648.4 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 187.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 187.8 \text{ kN}$

Kontrolle nach 6.2.7.2(9)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 168.3 \text{ kN}$, $h_x = 222.5 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq 0.95 \cdot \Sigma F_{t,Rd} = 214.8 \text{ kN}$, keine Abminderung

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (endgültig)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 168.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 187.8 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 4

Biegetragfähigkeit

$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 65.2 \text{ kNm}$

Zugtragfähigkeit

$N_{j,Rd} = M_{j,Rd} / z_{bu} = 704.4 \text{ kN}$

Drucktragfähigkeit

$N_{j,c,Rd} = \min F_{c,Rd} \cdot z / z_{bo} = 1080.6 \text{ kN}$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 152.5 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 152.5 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 152.5 \text{ kN}$

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

$\Sigma F_{t,Rd} = 226.1 \text{ kN}$

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = f_v \cdot 152.5 \text{ kN} = 71.4 \text{ kN}$ mit $f_v = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.468$

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = f_v \cdot 152.5 \text{ kN} = 62.0 \text{ kN}$ mit $f_v = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.407$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = f_v \cdot 152.5 \text{ kN} = 152.5 \text{ kN}$ mit $f_v = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 1.000$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (endgültig)

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 71.4 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 62.0 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 152.5 \text{ kN}$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 285.8 \text{ kN}$

Gesamt

$N_{j,Rd} = 704.4 \text{ kN}$ $N_{j,c,Rd} = 1080.6 \text{ kN}$ $M_{j,Rd} = 65.2 \text{ kNm}$ $V_{j,Rd} = 285.8 \text{ kN}$

Nachweise

Nachweis der Anschlussstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Normalkraft: $N_{b,Ed} = |N_d| = 87.57 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 91.75 \text{ kN} \Rightarrow$ Biegung ohne Normalkraft
bez. der Trägerachse

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu} = 39.39 \text{ kNm}$, $z_{bu} = 92.5 \text{ mm}$

Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 3.43 \text{ kN}$

$M_{Ed} / M_{j,Rd} = 0.605 < 1$ ok.

$V_{Ed} / V_{j,Rd} = 0.012 < 1$ ok.

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit bei 60.5%-iger Ausnutzung der Biegetragfähigkeit $V_{j,Rd} = 353.7 \text{ kN}$

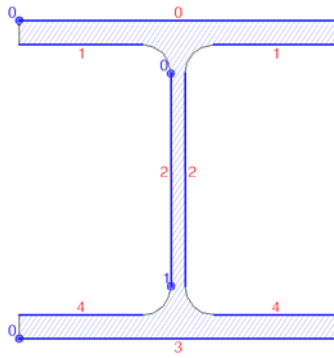
$V_{Ed} / V_{j,Rd} = 0.010 < 1$ ok.

Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 0: Trägerflansch mit Zug außen Naht 1: Trägerflansch mit Zug innen

Naht 2: Trägersteg beidseitig

Naht 3: Trägerflansch mit Druck außen Naht 4: Trägerflansch mit Druck innen



Naht 0:	$a_w = 4.0 \text{ mm}$	$l_w = 200.0 \text{ mm}$
Naht 1:	$a_w = 4.0 \text{ mm}$	$l_w = 155.0 \text{ mm}$
Naht 2:	$a_w = 4.0 \text{ mm}$	$l_w = 268.0 \text{ mm}$
Naht 3:	$a_w = 4.0 \text{ mm}$	$l_w = 200.0 \text{ mm}$
Naht 4:	$a_w = 4.0 \text{ mm}$	$l_w = 155.0 \text{ mm}$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$$A_{w,z} = 10.72 \text{ cm}^2, A_w = 39.12 \text{ cm}^2$$

$$I_{w,y} = 2656.31 \text{ cm}^4, z_w = 100.0 \text{ mm}$$

Spannungen in den Eckpunkten des Linienquerschnitts:

$$\text{Naht 0, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = 156.40 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 0.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Naht 2, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = 97.40 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = -3.20 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Pkt. 1: } \sigma_{w,x} = -142.17 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = -3.20 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Naht 3, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = -201.17 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 0.00 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise in den Eckpunkten des Linienquerschnitts:

$$\text{Naht 0, Pkt. 0: } \sigma_{w,Ed} = 15.64 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{vw,d} = 20.78 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{w,Ed} = 6.26 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 8.31 \text{ kN/cm} \quad \Rightarrow U = 0.752 < 1 \text{ ok.}$$

$$\text{Naht 2, Pkt. 0: } \sigma_{w,Ed} = 9.75 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{vw,d} = 20.78 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{w,Ed} = 3.90 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 8.31 \text{ kN/cm} \quad \Rightarrow U = 0.469 < 1 \text{ ok.}$$

$$\text{Pkt. 1: } \sigma_{w,Ed} = 14.22 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{vw,d} = 20.78 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{w,Ed} = 5.69 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 8.31 \text{ kN/cm} \quad \Rightarrow U = 0.684 < 1 \text{ ok.}$$

$$\text{Naht 3, Pkt. 0: } \sigma_{w,Ed} = 20.12 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{vw,d} = 20.78 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{w,Ed} = 8.05 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 8.31 \text{ kN/cm} \quad \Rightarrow U = 0.968 < 1 \text{ ok.}$$

Schubfeldnachweis

Stützensteg

Anforderungen an die Steifen: Nachweis der Stegsteifen erforderlich !!

Anforderungen an das Schubfeld: Beulnachweis erforderlich !!

Schnittgrößen am Schubfeld (Statik-Vorzeichen):

$$N_3 = 3.43 \text{ kN}, M_3 = -38.71 \text{ kNm}, V_3 = -87.57 \text{ kN}, N_4 = -87.57 \text{ kN}, M_4 = -47.47 \text{ kNm}, V_4 = -3.43 \text{ kN}$$

$$\text{Abmessungen des Schubfelds: } h_b = 373.0 \text{ mm}, h_t = 373.0 \text{ mm}, h_l = 177.5 \text{ mm}, h_r = 177.5 \text{ mm}$$

Spannungen im Schubfeld:

$$\tau_b = 66.4 \text{ N/mm}^2, \tau_t = 66.4 \text{ N/mm}^2, \tau_l = 66.7 \text{ N/mm}^2, \tau_r = 66.7 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis des Schubfelds:

$$\max \tau_{Ed} = 66.7 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \quad \Rightarrow U = 0.492 < 1 \text{ ok.}$$

Spannungen in den Randsteifen:

$$\sigma_b = 118.8 \text{ N/mm}^2, \sigma_t = 177.4 \text{ N/mm}^2, \sigma_l = 41.9 \text{ N/mm}^2, \sigma_r = 40.5 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Randsteifen:

$$\max \sigma_{Ed} = 177.4 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \quad \Rightarrow U = 0.755 < 1 \text{ ok.}$$

Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.968 < 1 \text{ ok.}$

Endergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.968 < 1 \text{ ok.}$

Nachweis erbracht