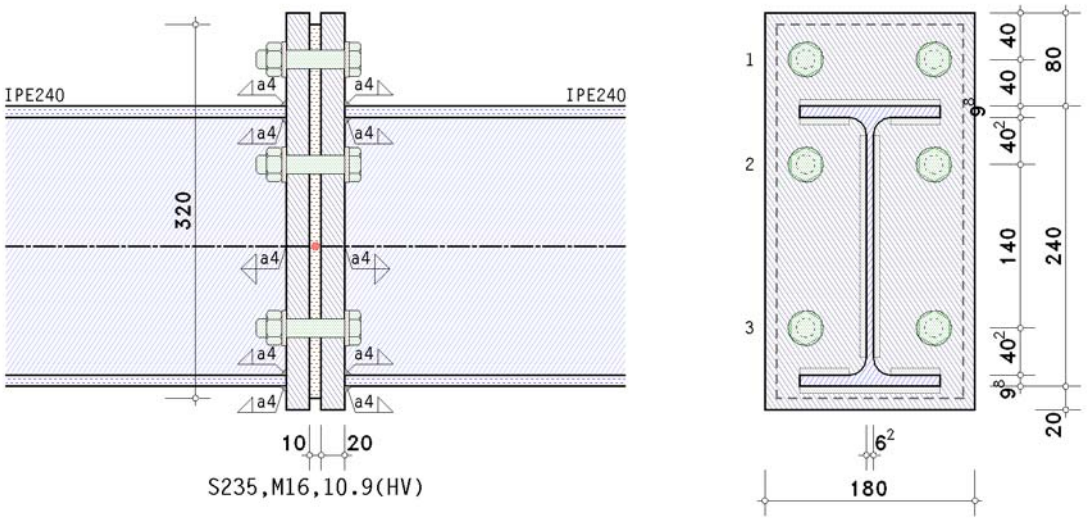
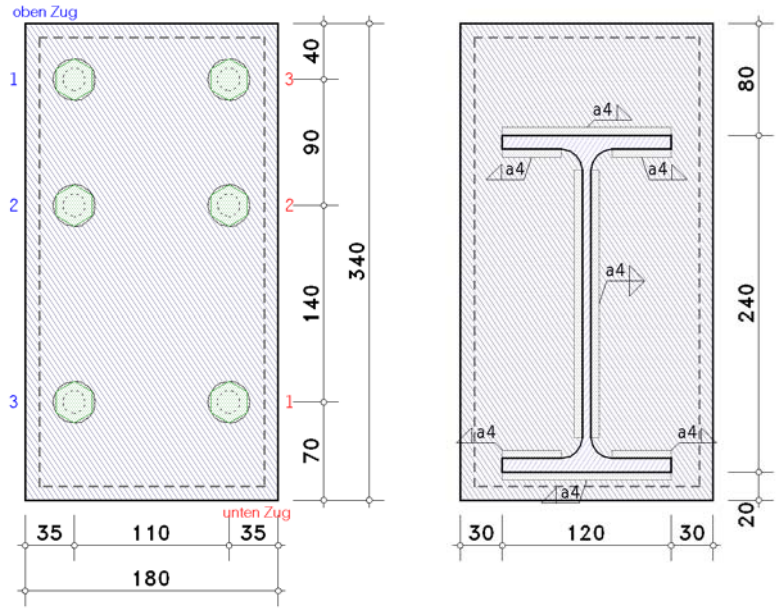
Biegestoß mit thermischer Trennschicht EC 3-1-8 (12.10), NA: Deutschland 4H-EC3TT Version: 3/2016-2r

1. Eingabeprotokoll



Details



Stahlsorte
Stahlgüte S235
Schrauben
Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M16
große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt (s. Parameter zur thermischen Trennschicht)
Schaft in der Scherfuge
Parameter des Trägers
Profil IPE240
Nachweisparameter
geschraubter Stirnblechanschluss:
Stirnblech: Dicke t_p = 20.0 mm, Breite b_p = 180.0 mm, Länge l_p = 340.0 mm
Überstände $h_{p,o}$ = 80.0 mm, $h_{p,u}$ = 20.0 mm
thermische Trennschicht (nach Art des Kerncompactlagers der Calenberg Ingenieure GmbH):
Dicke t_e = 10.0 mm, Breite b_e = 160.0 mm, Länge l_e = 320.0 mm
Randabstand $ü_e$ = 10.0 mm, Materialsicherheit γ_e = 1.00, Vorspannkraft je Schraube $F_{p,C}$ = 0.0 kN
Schrauben im Anschluss:
3 Schraubenreihen mit je 2 Schrauben
alle Schraubenreihen einzeln betrachtet
alle Schraubenreihen zur Querkraftübertragung (Reihen 1-3)
Schraubengruppen automatisch bilden, Berücks. der maßgebenden Gruppe
Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs e_2 = 35.0 mm

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) e_o = 40.0 mm
Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) e_u = 70.0 mm
Achsabstand der Schraubenreihen voneinander p_{1-2} = 90.0 mm, p_{2-3} = 140.0 mm

Schweißnähte im Anschluss:
Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke a = 4.0 mm
Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke a = 4.0 mm
Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke a = 4.0 mm

Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen

Lk 1: $N_{j,b,Ed}$ = -20.61 kN $M_{j,b,Ed}$ = -16.76 kNm $V_{j,b,Ed}$ = 8.68 kN
Lk 2: $N_{j,b,Ed}$ = -15.77 kN $M_{j,b,Ed}$ = -17.14 kNm $V_{j,b,Ed}$ = -2.71 kN
Lk 3: $N_{j,b,Ed}$ = -21.38 kN $M_{j,b,Ed}$ = -16.72 kNm $V_{j,b,Ed}$ = 16.60 kN

Materialsicherheitsbeiwerte

Beanspruchbarkeit von Querschnitten γ_{M0} = 1.00
Beanspruchbarkeit von Schrauben, Schweißnähten, Blechen auf Lochleibung γ_{M2} = 1.25

Hinweis
Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkräfte.
Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

Datencheck

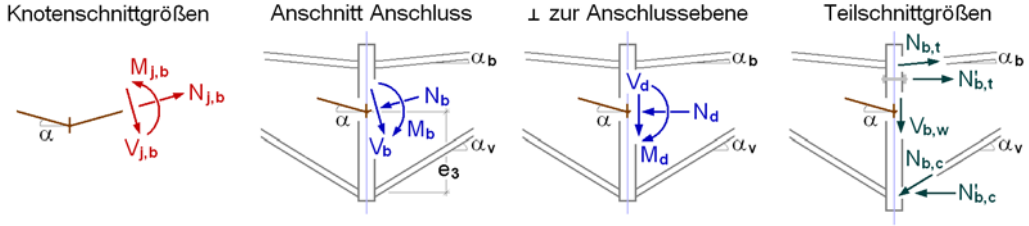
ok

Schraubenabstände am Stirnblech

horizontal:	e_2 = 35.0 mm > 1.2·d_0 = 21.6 mm,	e_2 = 35.0 mm < 4·t + 40 mm = 120.0 mm
horizontal:	p_2 = 110.0 mm > 2.4·d_0 = 43.2 mm,	p_2 = 110.0 mm < min(14·t, 200 mm) = 200.0 mm
oben-unten:	e_1 = 40.0 mm > 1.2·d_0 = 21.6 mm,	e_1 = 40.0 mm < 4·t + 40 mm = 120.0 mm
oben-unten:	p_1 = 90.0 mm > 2.2·d_0 = 39.6 mm,	p_1 = 90.0 mm < min(14·t, 200 mm) = 200.0 mm
oben-unten:	p_1 = 140.0 mm > 2.2·d_0 = 39.6 mm,	p_1 = 140.0 mm < min(14·t, 200 mm) = 200.0 mm
oben-unten:	e_1 = 70.0 mm > 1.2·d_0 = 21.6 mm,	e_1 = 70.0 mm < 4·t + 40 mm = 120.0 mm

2. Lk 1

2.1. Bemessungsgrößen



Neigungswinkel: $\alpha_b = \alpha = \alpha_v = 0°$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger
N_d = 20.61 kN, M_d = 16.71 kNm, V_d = 8.68 kN

Teilschnittgrößen

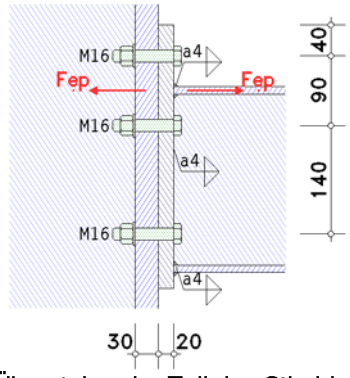
Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_d \cdot t_p$ = 16.54 kNm
$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b$ = 61.54 kN, z_b = 230.2 mm, z_{bu} = 115.1 mm
$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b$ = 82.15 kN, z_b = 230.2 mm, z_{bo} = 115.1 mm
$V_{b,t} = -N_{b,t} \cdot \sin(\alpha_b)$ = 0.00 kN, $V_{b,c} = N_{b,c} \cdot \sin(\alpha_v)$ = 0.00 kN, $V_{b,w} = V_d - V_{b,t} - V_{b,c}$ = 8.68 kN

2.2. Querschnittstragfähigkeit im Anschnitt

plastischer Spannungsnachweis für N = -20.61 kN, M_y = -16.54 kNm, V_z = 8.68 kN
Hauptbieg.: N = -20.61 kN, Grenznormalkräfte N_{max} = 887.78 kN, N_{min} = -887.78 kN ⇒ U_N = 0.023
M_y = -16.54 kNm, Grenzmomente $M_{y,max}$ = 82.83 kNm, $M_{y,min}$ = -82.83 kNm ⇒ U_{My} = 0.200
Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): max U = 0.206 < 1 ok
c/t-Verhältnis: einseitig gestützt: Ausnutzung $U_{c/t}$ = 0.149 < 1 ok
beidseitig gestützt: Ausnutzung $U_{c/t}$ = 0.134 < 1 ok

2.3. Grundkomponenten

2.3.1. 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.

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 90.0$ mm, $l_{eff,cp} = 181.4$ mm

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 90.0$ mm

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 2.11$ kNm

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

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

$L_b = 66.0$ mm ≤ 85.7 mm $= L_b^*$ $\Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 283.94$ kN

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 175.86$ kN

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 175.86$ kN

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.0$ N/mm²

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 183.28$ kN (≥ 175.86 kN, nicht maßgebend)

Tragfähigkeit und effektive Länge eines Stirnblechs mit Biegung (Überstand)

$F_{t,ep,Rd,1} = 175.86$ kN, $l_{eff,1} = 90.0$ mm

Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe):

hier: Anzahl Schraubenreihen n_b = 1

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 256.8$ mm, $l_{eff,cp} = 297.7$ mm

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 256.8$ mm

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 6.03$ kNm

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

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

$L_b = 66.0$ mm ≤ 71.5 mm $= L_b^*$ $\Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 592.66$ kN

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 242.58$ kN

Modus 3: Schraubenversagen

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

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

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.0$ N/mm²

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 522.97$ kN (≥ 226.08 kN, nicht maßgebend)

Reihe 3

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 256.8$ mm, $l_{eff,cp} = 297.7$ mm

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 256.8$ mm

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 6.03$ kNm

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

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

$L_b = 66.0$ mm ≤ 71.5 mm $= L_b^*$ $\Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 592.66$ kN

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 242.58$ kN

Modus 3: Schraubenversagen

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

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

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.0$ N/mm²
Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 522.97$ kN (≥ 226.08 kN, nicht maßgebend)

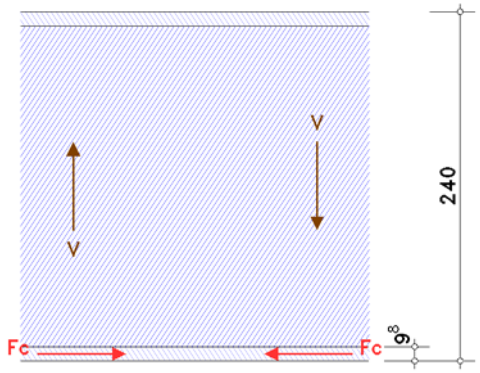
Tragfähigkeiten und effektive Längen eines Stirnblechs mit Biegung (je Schraubenreihe):
$F_{ep,Rd,2} = 226.08$ kN, $l_{eff,2} = 256.8$ mm
$F_{ep,Rd,3} = 226.08$ kN, $l_{eff,3} = 256.8$ mm

Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):
hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 2$ (R2+R3)
wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):
für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 420.4$ mm, $\Sigma l_{eff,cp} = 577.7$ mm
für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 420.4$ mm
Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:
für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 9.88$ kNm
$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 113.04$ kN, $k_2 = 0.90$
für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 452.16$ kN
$L_b = 66.0$ mm ≤ 87.4 mm $= L_b^*$ ⇒ Abstützkräfte können auftreten !
Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs
$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 970.12$ kN
Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs
$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 431.96$ kN
Modus 3: Schraubenversagen
$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 452.16$ kN
Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 431.96$ kN
Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.0$ N/mm²
Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 856.05$ kN (≥ 431.96 kN, nicht maßgebend)

Tragfähigkeit und effektive Länge eines Stirnblechs mit Biegung (maßgebende Schraubengruppe)
$F_{t,ep,Rd} = 431.96$ kN, $\Sigma l_{eff} = 420.4$ mm, 2 Reihen

2.3.2. Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

Flansch unten: Q-Klasse 1
Steg: Q-Klasse 1
Gesamt: Q-Klasse 1
Querschnittsklasse des Trägers: 1
Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion $V_{Ed} = 8.7$ kN

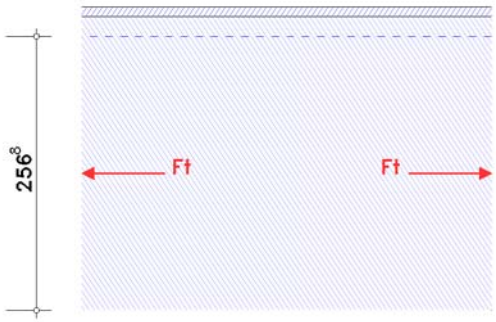


In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 8.7$ kN ≤ 129.9 kN $= V_{pl,Rd}/2$ ⇒ kein Einfluss
Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 86.15$ kNm, $W_{pl} = 366.61$ cm³
Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck
$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 374.25$ kN

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:
Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 8.7$ kN ≤ 129.9 kN $= V_{pl,Rd}/2$ ⇒ kein Einfluss
Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 86.15$ kNm, $W_{pl} = 366.61$ cm³
Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck
$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 374.25$ kN

2.3.3. 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 2

wirksame Breite $b_{eff,t,wb}$ = 256.8 mm (l$_{eff}$ aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0}$ = 374.2 kN

Reihe 3

wirksame Breite $b_{eff,t,wb}$ = 256.8 mm (l$_{eff}$ aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0}$ = 374.2 kN

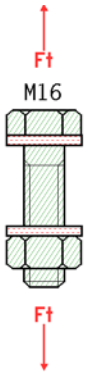
Für eine Gruppe von Schraubenreihen maßgebend:

wirksame Breite $b_{eff,t,wb}$ = 420.4 mm (l$_{eff}$ aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0}$ = 612.5 kN

2.3.4. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



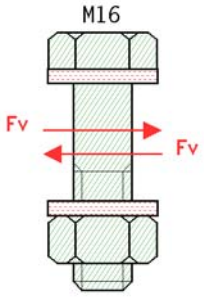
In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

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

Durchstanztragfähigkeit $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u)) / \gamma_{M2}$ = 307.05 kN, t_p = 20.0 mm

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

2.3.5. Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung



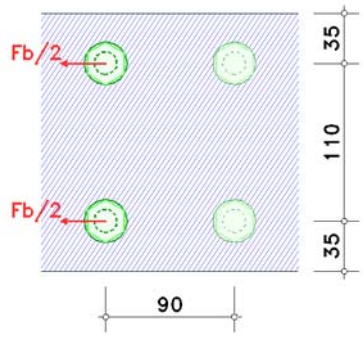
In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

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

Abschertragfähigkeit für 2 Schrauben (1-schnittig): $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd}$ = 193.02 kN

2.3.6. 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: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 170.67$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.74$
- Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 170.67$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.74$
- Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 341.33$ kN
- Blockversagen:
- Versagensform 1: Schubwiderstand $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u) / \gamma_{M2} + (A_{nv} \cdot f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0} = 698.16$ kN
- Versagensform 2: Schubwiderstand $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u) / \gamma_{M2} + (A_{nv} \cdot f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0} = 467.76$ kN
- Versagensform 3: Schubwiderstand $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u) / \gamma_{M2} + (A_{nv} \cdot f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0} = 829.44$ kN
- Lochleibungstragfähigkeit einschl. Blockversagen: $\min(\Sigma F_{b,Rd}, V_{eff,Rd}) = 341.3$ kN

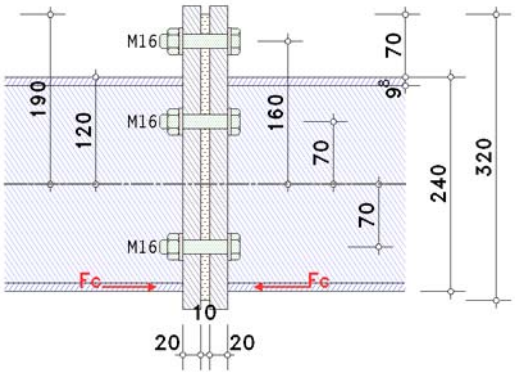
Reihe 2
- Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 230.40$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$
- Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 230.40$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$
- Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 460.80$ kN

Reihe 3
- Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 230.40$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$
- Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 230.40$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$
- Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 460.80$ kN

Lochleibungstragfähigkeiten (3 Reihen)
- $\Sigma F_{b,Rd,1} = 341.33$ kN
- $\Sigma F_{b,Rd,2} = 460.80$ kN
- $\Sigma F_{b,Rd,3} = 460.80$ kN

2.3.7. 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.
Das Berechnungsverfahren gilt ebenso für den Anschluss eines Stahlträgers an eine Stahlbetonstütze.
Die Schrauben werden mit dem Gewinde in der Scherfuge nachgewiesen.

effektive Trennschichtlänge $h_m = 74.6$ mm
mittlere Druckspannung $\sigma_m = 5.50$ N/mm²

Nachweis der Trennschicht:

Formfaktor S = 1.962 für 2 Schrauben im Druckbereich
zulässige mittlere Druckspannung $\sigma_{m,zul} = 9.73$ N/mm²
Auslastung der Trennschicht 0.565 < 1 ok

Nachweis der Schrauben:

Abscherkraft: $F_{Ed} = V_{Ed} / n_d = 4.3$ kN
Biegemoment: $M_{Ed} = V_{Ed} \cdot t_e / n_d = 0.04$ kNm

Abscheren

Abschertragfähigkeit je Scherfuge $F_{v,Rd} = (0.5 \cdot f_{up} \cdot A) / \gamma_{M2} = 62.80$ kN
$F_{v,Ed} = F_{Ed} = 4.3$ kN < $F_{v,Rd} = 62.80$ kN ⇒ U = 0.069 < 1 ok

Biegung

Biegewiderstand $M_{Rd} = (0.9 \cdot f_{yp} \cdot W_{el}) / \gamma_{M0} = 0.225$ kNm
$M_{Ed} = 0.04$ kNm < $M_{Rd} = 0.225$ kNm ⇒ U = 0.193 < 1 ok

Kombination von Abscheren und Biegung

$(F_{v,Ed}/F_{v,Rd})^2 + (M_{Ed}/M_{Rd})^2 = 0.042$ < 1 ok

Tragfähigkeit eines Stirnblechstoßes mit thermischer Trennschicht:

$F_{c,e,Rd} = A_{eff} \cdot f_e / \gamma_{Me} = 86.3$ kN, $A_{eff} = 88.73$ cm², $f_e = \sigma_{m,zul} = 9.73$ N/mm², $\gamma_{Me} = 1.00$

2.4. Anschlusstragfähigkeit

2.4.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 275.1$ mm, $h_2 = 185.1$ mm, $h_3 = 45.1$ mm

Tragfähigkeiten nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet
maßgebende Grundkomponenten: 5, 8
Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 175.9$ kN
Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN
Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stirnblech)
maßgebende Grundkomponenten: 5, 8
Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 432.0$ kN — $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN $<$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN
Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 612.5$ kN — $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN $<$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN
Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN
Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 226.1$ kN (Reihe 2)
Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 205.9$ kN — $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN $>$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN
Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 386.4$ kN — $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN $<$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN
Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)
Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 175.9$ kN
Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN
Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN
$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 607.8$ kN

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(7)
maßgebende Grundkomponente: 7, 15
Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 374.3$ kN — $F_{tr,Rd} = 175.9$ kN $<$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 175.9$ kN
Gk 15: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,e,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 86.3$ kN — $F_{tr,Rd} = 175.9$ kN $>$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 86.3$ kN
Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 86.3$ kN
Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 86.3$ kN (Reihe 1)
Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 287.9$ kN — $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN $<$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN
Gk 15: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,e,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 0.0$ kN — $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN $>$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 86.3$ kN (Reihen 1 bis 2)
Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 287.9$ kN — $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN $<$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN
Gk 15: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,e,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 0.0$ kN — $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN $>$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN

Kontrolle nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(9)
maßgebende Grundkomponente: 10
Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 86.3$ kN, $h_x = 275.1$ mm $\Rightarrow$ $F_{tx,Rd} \leq$ lim $F_{tx,Rd} = 214.8$ kN, keine Abminderung
Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 86.3$ kN

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)
Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 86.3$ kN
Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
$\Sigma F_{tr,Rd} = 86.3$ kN
Mögliches Versagen durch Grundkomponente 5, 15

Tragfähigkeit der Flansche
$\Sigma F_{c,Rd}^* = 172.7$ kN

Biegetragfähigkeit
$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 23.7$ kNm
Zugtragfähigkeit
$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 607.8$ kN
Drucktragfähigkeit
$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 172.7$ kN

2.4.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe
Reihe 1: $F_{vr,Rd}$ = 140.4 kN
Reihe 2: $F_{vr,Rd}$ = 193.0 kN
Reihe 3: $F_{vr,Rd}$ = 193.0 kN
$\Sigma F_{vr,Rd}$ = 526.4 kN

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit
$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd}$ = 526.4 kN

2.4.3. Gesamt

$M_{j,Rd}$ = 23.7 kNm $N_{j,t,Rd}$ = 607.8 kN $N_{j,c,Rd}$ = 172.7 kN $V_{j,Rd}$ = 526.4 kN

2.5. Nachweise

2.5.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

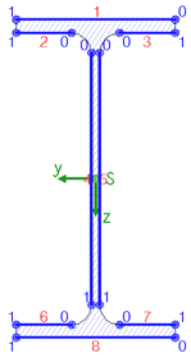
Normalkraft: $N_{b,Ed} = |N_d|$ = 20.61 kN < 5%·$N_{pl,Rd}$ = 45.96 kN ⇒ Biegetragfähigkeit
Biegemoment: $M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu}$ = 14.34 kNm, z_{bu} = 115.1 mm
Querkraft: $V_{Ed} = |V_d|$ = 8.68 kN
Schubkraft: $V_{b,w,Ed}$ = 8.68 kN

$M_{Ed}/M_{j,Rd}$ = 0.604 < 1 ok
Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit bei nur 60.4%-iger Ausnutzung der Biegetragfähigkeit $V_{j,Rd}$ = 547.3 kN
$V_{Ed}/V_{j,Rd}$ = 0.016 < 1 ok

2.5.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen
Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen
Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen
Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig
Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1: a_w = 4.0 mm l_w = 120.0 mm
Naht 2: a_w = 4.0 mm l_w = 41.9 mm
Naht 3: siehe Naht 2
Naht 4: a_w = 4.0 mm l_w = 190.4 mm
Naht 5: siehe Naht 4
Naht 6: a_w = 4.0 mm l_w = 41.9 mm
Naht 7: siehe Naht 6
Naht 8: a_w = 4.0 mm l_w = 120.0 mm

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:
N_{Ed} = -20.61 kN, $M_{y,Ed}$ = -16.71 kNm, $V_{z,Ed}$ = 8.68 kN
Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:
ΣA_w = 31.54 cm², $A_{w,z}$ = 15.23 cm², Σl_w = 78.8 cm
$I_{w,y}$ = 2656.70 cm⁴, $I_{w,z}$ = 228.70 cm⁴, Δz_w = 0.0 mm
Schnittgrößenverteilung:
Naht 1: N_w = 33.10 kN
Naht 2: N_w = 10.52 kN
Naht 3: siehe Naht 2
Naht 4: N_w = -4.98 kN $M_{y,w}$ = -1.45 kNm
Naht 5: siehe Naht 4
Naht 6: N_w = -12.71 kN
Naht 7: siehe Naht 6
Naht 8: N_w = -39.37 kN
aus konventioneller Querkraftaufteilung: $V_{z,w}$ = 8.68 kN
Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

Naht 1,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = 68.96 N/mm²		⇒ U_w = 0.271 < 1 ok
Naht 2,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = 62.79 N/mm²		⇒ U_w = 0.247 < 1 ok
Naht 4,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = 53.35 N/mm²	$\tau_{w,z}$ = 5.70 N/mm²	⇒ U_w = 0.211 < 1 ok
	Pkt. 1:	$\sigma_{w,x}$ = -66.43 N/mm²	$\tau_{w,z}$ = 5.70 N/mm²	⇒ U_w = 0.262 < 1 ok
Naht 6,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = -75.86 N/mm²		⇒ U_w = 0.298 < 1 ok
Naht 8,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = -82.03 N/mm²		⇒ U_w = 0.322 < 1 ok

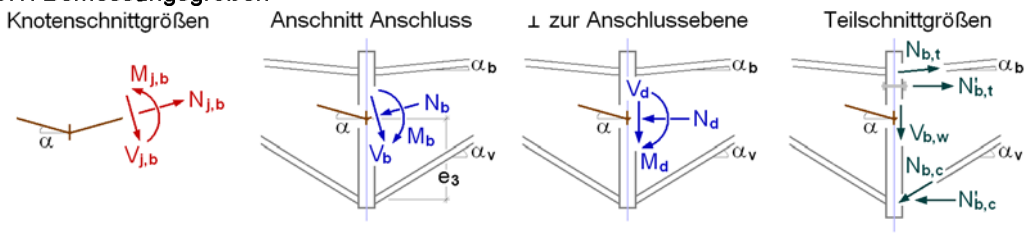
Ergebnis:
Naht 8, Pkt. 0: $\sigma_{w,x}$ = -82.03 N/mm²
Max: $\sigma_{1,w,Ed}$ = 116.00 N/mm² < $f_{1w,d}$ = 360.00 N/mm²,
$\sigma_{2,w,Ed}$ = 58.00 N/mm² < $f_{2w,d}$ = 259.20 N/mm² ⇒ U_w = 0.322 < 1 ok

2.5.3. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: max U = 0.604 < 1 ok

3. Lk 2

3.1. Bemessungsgrößen



Neigungswinkel: $\alpha_b = \alpha = \alpha_v = 0°$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger

N_d = 15.77 kN, M_d = 17.16 kNm, V_d = -2.71 kN

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_d \cdot t_p$ = 17.21 kNm

$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b$ = 66.89 kN, z_b = 230.2 mm, z_{bu} = 115.1 mm

$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b$ = 82.66 kN, z_b = 230.2 mm, z_{bo} = 115.1 mm

$V_{b,t} = -N_{b,t} \cdot \sin(\alpha_b)$ = 0.00 kN, $V_{b,c} = N_{b,c} \cdot \sin(\alpha_v)$ = 0.00 kN, $V_{b,w} = V_d - V_{b,t} - V_{b,c}$ = -2.71 kN

3.2. Querschnittstragfähigkeit im Anschnitt

plastischer Spannungsnachweis für N = -15.77 kN, M_y = -17.21 kNm, V_z = -2.71 kN

Hauptbieg.: N = -15.77 kN, Grenznormalkräfte N_{max} = 888.09 kN, N_{min} = -888.09 kN ⇒ U_N = 0.018

M_y = -17.21 kNm, Grenzmomente $M_{y,max}$ = 82.88 kNm, $M_{y,min}$ = -82.88 kNm ⇒ U_{My} = 0.208

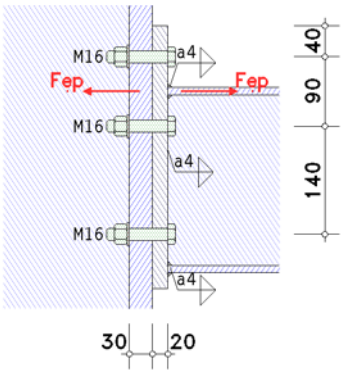
Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): max U = 0.211 < 1 ok

c/t-Verhältnis: einseitig gestützt: Ausnutzung $U_{c/t}$ = 0.150 < 1 ok

beidseitig gestützt: Ausnutzung $U_{c/t}$ = 0.129 < 1 ok

3.3. Grundkomponenten

3.3.1. 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.

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp})$ = 90.0 mm, $l_{eff,cp}$ = 181.4 mm

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc}$ = 90.0 mm

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0}$ = 2.11 kNm

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

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

L_b = 66.0 mm ≤ 85.7 mm = L_b^* ⇒ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n))$ = 283.94 kN

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n)$ = 175.86 kN

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$ = 175.86 kN

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$ = 360.0 N/mm²

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff}$ = 183.28 kN (≥ 175.86 kN, nicht maßgebend)

Tragfähigkeit und effektive Länge eines Stirnblechs mit Biegung (Überstand)

$F_{t,ep,Rd,1}$ = 175.86 kN, $l_{eff,1}$ = 90.0 mm

Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe):

hier: Anzahl Schraubenreihen n_b = 1

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp})$ = 256.8 mm, $l_{eff,cp}$ = 297.7 mm

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc}$ = 256.8 mm

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0}$ = 6.03 kNm

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

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

L_b = 66.0 mm ≤ 71.5 mm = L_b^* ⇒ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n))$ = 592.66 kN

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n)$ = 242.58 kN

Modus 3: Schraubenversagen

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

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

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$ = 360.0 N/mm²

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff}$ = 522.97 kN (≥ 226.08 kN, nicht maßgebend)

Reihe 3

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp})$ = 256.8 mm, $l_{eff,cp}$ = 297.7 mm

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc}$ = 256.8 mm

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0}$ = 6.03 kNm

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

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

L_b = 66.0 mm ≤ 71.5 mm = L_b^* ⇒ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n))$ = 592.66 kN

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n)$ = 242.58 kN

Modus 3: Schraubenversagen

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

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

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$ = 360.0 N/mm²

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff}$ = 522.97 kN (≥ 226.08 kN, nicht maßgebend)

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

$F_{ep,Rd,2}$ = 226.08 kN, $l_{eff,2}$ = 256.8 mm

$F_{ep,Rd,3}$ = 226.08 kN, $l_{eff,3}$ = 256.8 mm

Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):

hier: Anzahl Schraubenreihen n_b = 2 (R2+R3)

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp})$ = 420.4 mm, $\Sigma l_{eff,cp}$ = 577.7 mm

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc}$ = 420.4 mm

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0}$ = 9.88 kNm

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

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd}$ = 452.16 kN

L_b = 66.0 mm ≤ 87.4 mm = L_b^* ⇒ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n))$ = 970.12 kN

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n)$ = 431.96 kN

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$ = 452.16 kN

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$ = 431.96 kN

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$ = 360.0 N/mm²

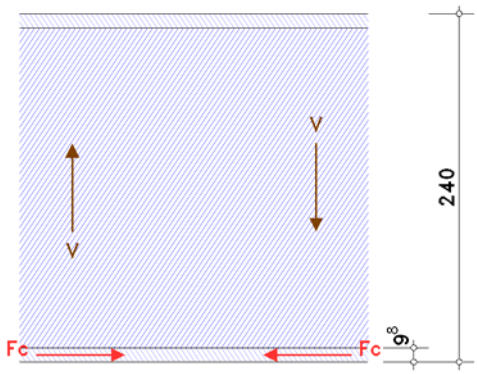
Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff}$ = 856.05 kN (≥ 431.96 kN, nicht maßgebend)

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

$F_{t,ep,Rd}$ = 431.96 kN, Σl_{eff} = 420.4 mm, 2 Reihen

3.3.2. Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

Flansch unten: Q-Klasse 1
Steg: Q-Klasse 1
Gesamt: Q-Klasse 1
Querschnittsklasse des Trägers: 1
Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion V_{Ed} = 2.7 kN

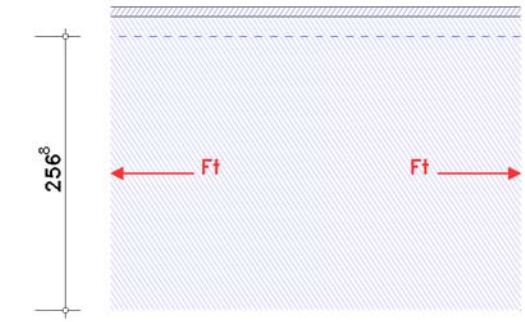


In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: V_{Ed} = 2.7 kN ≤ 129.9 kN = $V_{pl,Rd}/2$ ⇒ kein Einfluss
Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0}$ = 86.15 kNm, W_{pl} = 366.61 cm³
Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck
$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f)$ = 374.25 kN

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:
Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: V_{Ed} = 2.7 kN ≤ 129.9 kN = $V_{pl,Rd}/2$ ⇒ kein Einfluss
Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0}$ = 86.15 kNm, W_{pl} = 366.61 cm³
Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck
$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f)$ = 374.25 kN

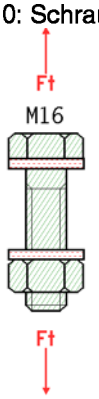
3.3.3. Gk 8: Trägersteg mit Zugbeanspruchung



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

Für jede einzelne Schraubenreihe:
Reihe 2
wirksame Breite $b_{eff,t,wb}$ = 256.8 mm (l_{eff} aus Gk 5)
Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung
$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0}$ = 374.2 kN
Reihe 3
wirksame Breite $b_{eff,t,wb}$ = 256.8 mm (l_{eff} aus Gk 5)
Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung
$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0}$ = 374.2 kN
Für eine Gruppe von Schraubenreihen maßgebend:
wirksame Breite $b_{eff,t,wb}$ = 420.4 mm (l_{eff} aus Gk 5)
Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung
$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0}$ = 612.5 kN

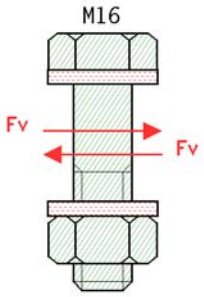
3.3.4. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



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

Zugtragfähigkeit einer Schraube $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 113.04$ kN, $k_2 = 0.90$
Durchstanztragfähigkeit $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u)) / \gamma_{M2} = 307.05$ kN, $t_p = 20.0$ mm
Zug-/Durchstanztragfähigkeit für 2 Schrauben: $\Sigma F_{tp,Rd} = 2 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 226.08$ kN

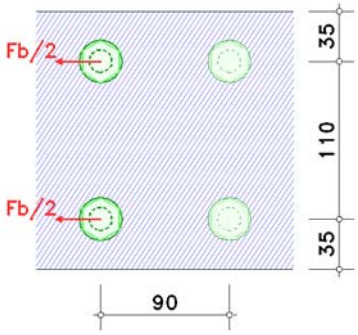
3.3.5. Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung



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

Abschertragfähigkeit je Scherfuge $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 96.51$ kN, $\alpha_v = 0.60$
Abschertragfähigkeit für 2 Schrauben (1-schnittig): $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 193.02$ kN

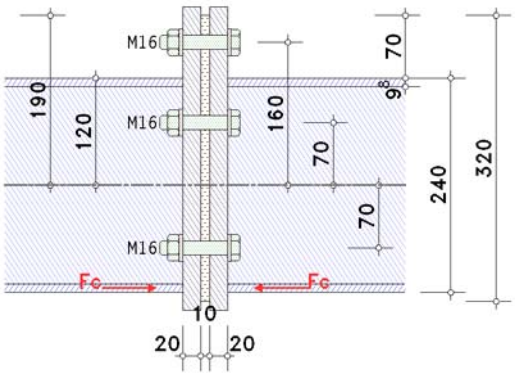
3.3.6. Gk 12: Blech mit Lochleibungsbeanspruchung



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

Reihe 1
Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 230.40$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$
Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 230.40$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$
Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 460.80$ kN
Reihe 2
Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 230.40$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$
Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 230.40$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$
Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 460.80$ kN
Reihe 3
Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 230.40$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$
Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 230.40$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$
Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 460.80$ kN
Lochleibungstragfähigkeiten (3 Reihen)
$\Sigma F_{b,Rd,1} = 460.80$ kN
$\Sigma F_{b,Rd,2} = 460.80$ kN
$\Sigma F_{b,Rd,3} = 460.80$ kN

3.3.7. 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.
Das Berechnungsverfahren gilt ebenso für den Anschluss eines Stahlträgers an eine Stahlbetonstütze.
Die Schrauben werden mit dem Gewinde in der Scherfuge nachgewiesen.

effektive Trennschichtlänge h_m = 71.8 mm
mittlere Druckspannung σ_m = 5.64 N/mm²

Nachweis der Trennschicht:
Formfaktor S = 1.903 für 2 Schrauben im Druckbereich
zulässige mittlere Druckspannung $\sigma_{m,zul}$ = 9.32 N/mm²
Auslastung der Trennschicht 0.606 < 1 ok

Nachweis der Schrauben:
Abscherkraft: $F_{Ed} = V_{Ed} / n_d$ = 1.4 kN
Biegemoment: $M_{Ed} = V_{Ed} \cdot t_e / n_d$ = 0.01 kNm

Abscheren
Abschertragfähigkeit je Scherfuge $F_{v,Rd} = (0.5 \cdot f_{up} \cdot A) / \gamma_{M2}$ = 62.80 kN
$F_{v,Ed} = F_{Ed}$ = 1.4 kN < $F_{v,Rd}$ = 62.80 kN ⇒ U = 0.022 < 1 ok

Biegung
Biegewiderstand $M_{Rd} = (0.9 \cdot f_{yp} \cdot W_{el}) / \gamma_{M0}$ = 0.225 kNm
M_{Ed} = 0.01 kNm < M_{Rd} = 0.225 kNm ⇒ U = 0.060 < 1 ok

Kombination von Abscheren und Biegung
$(F_{v,Ed}/F_{v,Rd})^2 + (M_{Ed}/M_{Rd})^2$ = 0.004 < 1 ok

Tragfähigkeit eines Stirnblechstoßes mit thermischer Trennschicht:
$F_{c,e,Rd} = A_{eff} \cdot f_e / \gamma_{Me}$ = 82.7 kN, A_{eff} = 88.73 cm², $f_e = \sigma_{m,zul}$ = 9.32 N/mm², γ_{Me} = 1.00

3.4. Anschlusstragfähigkeit

3.4.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: h_1 = 275.1 mm, h_2 = 185.1 mm, h_3 = 45.1 mm

Tragfähigkeiten nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet
maßgebende Grundkomponenten: 5, 8
Reihe 1: $F_{tr,Rd}$ = 175.9 kN
Reihe 2: $F_{tr,Rd}$ = 226.1 kN
Reihe 3: $F_{tr,Rd}$ = 226.1 kN

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stirnblech)
maßgebende Grundkomponenten: 5, 8
Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd}$ = 0.0 kN
Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd}$ = 432.0 kN — $F_{tr,Rd}$ = 226.1 kN < $\Delta F_{tr,Rd}$ ⇒ $F_{tr,Rd}$ = 226.1 kN
Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd}$ = 612.5 kN — $F_{tr,Rd}$ = 226.1 kN < $\Delta F_{tr,Rd}$ ⇒ $F_{tr,Rd}$ = 226.1 kN
Reihe 2: $F_{tr,Rd}$ = 226.1 kN
Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd}$ = 226.1 kN (Reihe 2)
Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd}$ = 205.9 kN — $F_{tr,Rd}$ = 226.1 kN > $\Delta F_{tr,Rd}$ ⇒ $F_{tr,Rd}$ = 205.9 kN
Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd}$ = 386.4 kN — $F_{tr,Rd}$ = 205.9 kN < $\Delta F_{tr,Rd}$ ⇒ $F_{tr,Rd}$ = 205.9 kN
Reihe 3: $F_{tr,Rd}$ = 205.9 kN

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)
Reihe 1: $F_{tr,Rd}$ = 175.9 kN
Reihe 2: $F_{tr,Rd}$ = 226.1 kN
Reihe 3: $F_{tr,Rd}$ = 205.9 kN
$\Sigma F_{tr,Rd}^*$ = 607.8 kN

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(7)
maßgebende Grundkomponente: 7, 15
Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd}$ = 0.0 kN
Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd}$ = 374.3 kN — $F_{tr,Rd}$ = 175.9 kN < $\Delta F_{tr,Rd}$ ⇒ $F_{tr,Rd}$ = 175.9 kN
Gk 15: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,e,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd}$ = 82.7 kN — $F_{tr,Rd}$ = 175.9 kN > $\Delta F_{tr,Rd}$ ⇒ $F_{tr,Rd}$ = 82.7 kN
Reihe 1: $F_{tr,Rd}$ = 82.7 kN
Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd}$ = 82.7 kN (Reihe 1)

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 291.6$ kN $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN $<$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN
Gk 15: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,e,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 0.0$ kN $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN $>$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 82.7$ kN (Reihen 1 bis 2)
Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 291.6$ kN $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN $<$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN
Gk 15: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,e,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 0.0$ kN $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN $>$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN

Kontrolle nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(9)
maßgebende Grundkomponente: 10
Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 82.7$ kN, $h_x = 275.1$ mm $\Rightarrow$ $F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 214.8$ kN, keine Abminderung
Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 82.7$ kN

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)
Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 82.7$ kN
Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
$\Sigma F_{tr,Rd} = 82.7$ kN
Mögliches Versagen durch Grundkomponente 5, 15

Tragfähigkeit der Flansche
$\Sigma F_{c,Rd}^{*} = 165.4$ kN

Biegetragfähigkeit
$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 22.7$ kNm
Zugtragfähigkeit
$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^{*} = 607.8$ kN
Drucktragfähigkeit
$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^{*} = 165.4$ kN

3.4.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe
Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 142.6$ kN
Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 193.0$ kN
Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 193.0$ kN
$\Sigma F_{vr,Rd} = 528.6$ kN

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit
$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 528.6$ kN

3.4.3. Gesamt

$M_{j,Rd} = 22.7$ kNm $N_{j,t,Rd} = 607.8$ kN $N_{j,c,Rd} = 165.4$ kN $V_{j,Rd} = 528.6$ kN

3.5. Nachweise

3.5.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

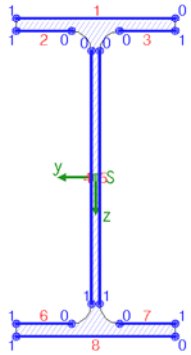
Normalkraft: $N_{b,Ed} = |N_d| = 15.77$ kN $<$ $5\% \cdot N_{pl,Rd} = 45.96$ kN $\Rightarrow$ Biegetragfähigkeit
Biegemoment: $M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu} = 15.34$ kNm, $z_{bu} = 115.1$ mm
Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 2.71$ kN
Schubkraft: $V_{b,w,Ed} = 2.71$ kN

$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.674 < 1$ ok
Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit bei nur 67.4%-iger Ausnutzung der Biegetragfähigkeit $V_{j,Rd} = 545.0$ kN
$V_{Ed}/V_{j,Rd} = 0.005 < 1$ ok

3.5.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen
Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen
Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen
Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig
Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:	a_w = 4.0 mm	l_w = 120.0 mm
Naht 2:	a_w = 4.0 mm	l_w = 41.9 mm
Naht 3:	siehe Naht 2	
Naht 4:	a_w = 4.0 mm	l_w = 190.4 mm
Naht 5:	siehe Naht 4	
Naht 6:	a_w = 4.0 mm	l_w = 41.9 mm
Naht 7:	siehe Naht 6	
Naht 8:	a_w = 4.0 mm	l_w = 120.0 mm

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:
N_{Ed} = -15.77 kN, $M_{y,Ed}$ = -17.16 kNm, $V_{z,Ed}$ = -2.71 kN
Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:
ΣA_w = 31.54 cm², $A_{w,z}$ = 15.23 cm², Σl_w = 78.8 cm
$I_{w,y}$ = 2656.70 cm⁴, $I_{w,z}$ = 228.70 cm⁴, Δz_w = 0.0 mm
Schnittgrößenverteilung:
Naht 1: N_w = 34.80 kN
Naht 2: N_w = 11.09 kN
Naht 3: siehe Naht 2
Naht 4: N_w = -3.81 kN $M_{y,w}$ = -1.49 kNm
Naht 5: siehe Naht 4
Naht 6: N_w = -12.77 kN
Naht 7: siehe Naht 6
Naht 8: N_w = -39.60 kN
aus konventioneller Querkraftaufteilung: $V_{z,w}$ = -2.71 kN
Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

Naht 1,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = 72.50 N/mm²		⇒ U_w = 0.285 < 1 ok
Naht 2,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = 66.17 N/mm²		⇒ U_w = 0.260 < 1 ok
Naht 4,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = 56.48 N/mm²	$\tau_{w,z}$ = -1.78 N/mm²	⇒ U_w = 0.222 < 1 ok
	Pkt. 1:	$\sigma_{w,x}$ = -66.49 N/mm²	$\tau_{w,z}$ = -1.78 N/mm²	⇒ U_w = 0.261 < 1 ok
Naht 6,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = -76.17 N/mm²		⇒ U_w = 0.299 < 1 ok
Naht 8,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = -82.50 N/mm²		⇒ U_w = 0.324 < 1 ok

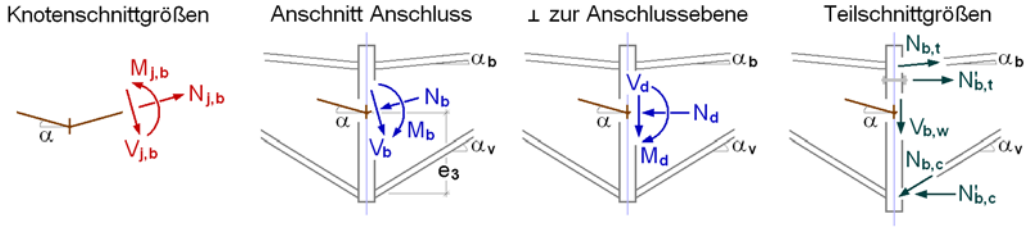
Ergebnis:
Naht 8, Pkt. 0: $\sigma_{w,x}$ = -82.50 N/mm²
Max: $\sigma_{1,w,Ed}$ = 116.68 N/mm² < $f_{1w,d}$ = 360.00 N/mm²,
$\sigma_{2,w,Ed}$ = 58.34 N/mm² < $f_{2w,d}$ = 259.20 N/mm² ⇒ U_w = 0.324 < 1 ok

3.5.3. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: max U = 0.674 < 1 ok

4. Lk 3

4.1. Bemessungsgrößen



Neigungswinkel: $\alpha_b = \alpha = \alpha_v = 0°$
Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen
Anschnitt Träger
N_d = 21.38 kN, M_d = 16.63 kNm, V_d = 16.60 kN

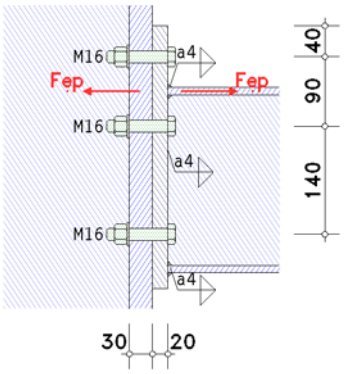
Teilschnittgrößen
Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_d \cdot t_p$ = 16.30 kNm
$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b$ = 60.12 kN, z_b = 230.2 mm, z_{bu} = 115.1 mm
$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b$ = 81.50 kN, z_b = 230.2 mm, z_{bo} = 115.1 mm
$V_{b,t} = -N_{b,t} \cdot \sin(\alpha_b)$ = 0.00 kN, $V_{b,c} = N_{b,c} \cdot \sin(\alpha_v)$ = 0.00 kN, $V_{b,w} = V_d - V_{b,t} - V_{b,c}$ = 16.60 kN

4.2. Querschnittstragfähigkeit im Anschnitt

plastischer Spannungsnachweis für N = -21.38 kN, M_y = -16.30 kNm, V_z = 16.60 kN
Hauptbieg.: N = -21.38 kN, Grenznormalkräfte N_{max} = 886.89 kN, N_{min} = -886.89 kN ⇒ U_N = 0.024
M_y = -16.30 kNm, Grenzmomente $M_{y,max}$ = 82.77 kNm, $M_{y,min}$ = -82.77 kNm ⇒ U_{My} = 0.197
Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): max U = 0.207 < 1 ok
c/t-Verhältnis: einseitig gestützt: Ausnutzung $U_{c/t}$ = 0.148 < 1 ok
beidseitig gestützt: Ausnutzung $U_{c/t}$ = 0.135 < 1 ok

4.3. Grundkomponenten

4.3.1. 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.
wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):
für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp})$ = 90.0 mm, $l_{eff,cp}$ = 181.4 mm
für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc}$ = 90.0 mm
Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:
für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0}$ = 2.11 kNm
$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2}$ = 113.04 kN, k_2 = 0.90
für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd}$ = 226.08 kN
L_b = 66.0 mm ≤ 85.7 mm = L_b^* ⇒ Abstützkräfte können auftreten !
Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs
$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n))$ = 283.94 kN
Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs
$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n)$ = 175.86 kN
Modus 3: Schraubenversagen
$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$ = 226.08 kN
Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$ = 175.86 kN
Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$ = 360.0 N/mm²
Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff}$ = 183.28 kN (≥ 175.86 kN, nicht maßgebend)
Tragfähigkeit und effektive Länge eines Stirnblechs mit Biegung (Überstand)
$F_{t,ep,Rd,1}$ = 175.86 kN, $l_{eff,1}$ = 90.0 mm
Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen
Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe):
hier: Anzahl Schraubenreihen n_b = 1
Reihe 2
wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):
für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp})$ = 256.8 mm, $l_{eff,cp}$ = 297.7 mm
für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc}$ = 256.8 mm
Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:
für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0}$ = 6.03 kNm
$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2}$ = 113.04 kN, k_2 = 0.90
für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd}$ = 226.08 kN
L_b = 66.0 mm ≤ 71.5 mm = L_b^* ⇒ Abstützkräfte können auftreten !
Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs
$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n))$ = 592.66 kN
Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs
$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n)$ = 242.58 kN
Modus 3: Schraubenversagen
$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$ = 226.08 kN
Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$ = 226.08 kN
Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$ = 360.0 N/mm²
Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff}$ = 522.97 kN (≥ 226.08 kN, nicht maßgebend)
Reihe 3
wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):
für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp})$ = 256.8 mm, $l_{eff,cp}$ = 297.7 mm
für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc}$ = 256.8 mm
Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 6.03$ kNm
$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 113.04$ kN, $k_2 = 0.90$
für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 226.08$ kN
$L_b = 66.0$ mm ≤ 71.5 mm $= L_b^*$ $\Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !
Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs
$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 592.66$ kN
Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs
$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 242.58$ kN
Modus 3: Schraubenversagen
$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 226.08$ kN
Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 226.08$ kN
Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.0$ N/mm²
Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 522.97$ kN (≥ 226.08 kN, nicht maßgebend)

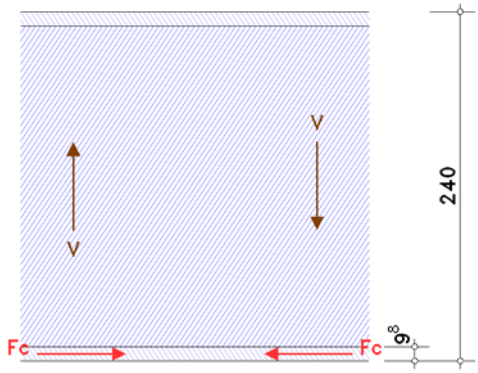
Tragfähigkeiten und effektive Längen eines Stirnblechs mit Biegung (je Schraubenreihe):
$F_{ep,Rd,2} = 226.08$ kN, $l_{eff,2} = 256.8$ mm
$F_{ep,Rd,3} = 226.08$ kN, $l_{eff,3} = 256.8$ mm

Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):
hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 2$ (R2+R3)
wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):
für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 420.4$ mm, $\Sigma l_{eff,cp} = 577.7$ mm
für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 420.4$ mm
Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:
für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 9.88$ kNm
$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 113.04$ kN, $k_2 = 0.90$
für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 452.16$ kN
$L_b = 66.0$ mm ≤ 87.4 mm $= L_b^*$ $\Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !
Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs
$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 970.12$ kN
Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs
$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 431.96$ kN
Modus 3: Schraubenversagen
$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 452.16$ kN
Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 431.96$ kN
Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.0$ N/mm²
Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 856.05$ kN (≥ 431.96 kN, nicht maßgebend)

Tragfähigkeit und effektive Länge eines Stirnblechs mit Biegung (maßgebende Schraubengruppe)
$F_{t,ep,Rd} = 431.96$ kN, $\Sigma l_{eff} = 420.4$ mm, 2 Reihen

4.3.2. Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

Flansch unten: Q-Klasse 1
Steg: Q-Klasse 1
Gesamt: Q-Klasse 1
Querschnittsklasse des Trägers: 1
Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion $V_{Ed} = 16.6$ kN

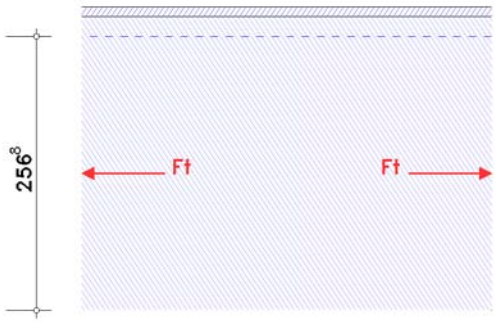


In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 16.6$ kN ≤ 129.9 kN $= V_{pl,Rd}/2$ $\Rightarrow$ kein Einfluss
Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 86.15$ kNm, $W_{pl} = 366.61$ cm³
Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck
$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 374.25$ kN

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:
Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 16.6$ kN ≤ 129.9 kN $= V_{pl,Rd}/2$ $\Rightarrow$ kein Einfluss
Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 86.15$ kNm, $W_{pl} = 366.61$ cm³
Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck
$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 374.25$ kN

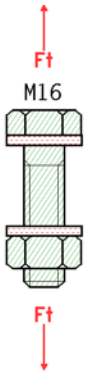
4.3.3. Gk 8: Trägersteg mit Zugbeanspruchung



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

Für jede einzelne Schraubenreihe:
Reihe 2
wirksame Breite $b_{eff,t,wb}$ = 256.8 mm (l_{eff} aus Gk 5)
Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung
$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0}$ = 374.2 kN
Reihe 3
wirksame Breite $b_{eff,t,wb}$ = 256.8 mm (l_{eff} aus Gk 5)
Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung
$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0}$ = 374.2 kN
Für eine Gruppe von Schraubenreihen maßgebend:
wirksame Breite $b_{eff,t,wb}$ = 420.4 mm (l_{eff} aus Gk 5)
Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung
$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0}$ = 612.5 kN

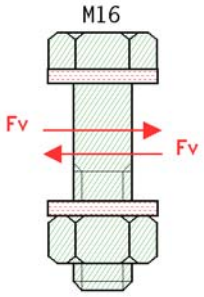
4.3.4. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



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

Zugtragfähigkeit einer Schraube $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2}$ = 113.04 kN, k_2 = 0.90
Durchstanztragfähigkeit $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u)) / \gamma_{M2}$ = 307.05 kN, t_p = 20.0 mm
Zug-/Durchstanztragfähigkeit für 2 Schrauben: $\Sigma F_{tp,Rd} = 2 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd})$ = 226.08 kN

4.3.5. Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung

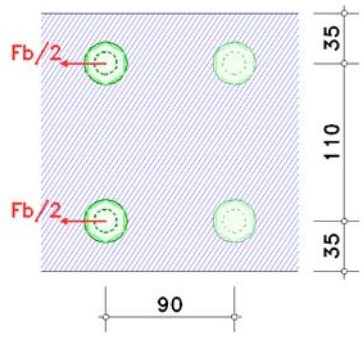


In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Abschertragfähigkeit je Scherfuge $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2}$ = 96.51 kN, α_v = 0.60
Abschertragfähigkeit für 2 Schrauben (1-schnittig): $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd}$ = 193.02 kN

4.3.6. 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: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 170.67$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.74$
- Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 170.67$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.74$
- Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 341.33$ kN
- Blockversagen:
- Versagensform 1: Schubwiderstand $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u) / \gamma_{M2} + (A_{nv} \cdot f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0} = 698.16$ kN
- Versagensform 2: Schubwiderstand $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u) / \gamma_{M2} + (A_{nv} \cdot f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0} = 467.76$ kN
- Versagensform 3: Schubwiderstand $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u) / \gamma_{M2} + (A_{nv} \cdot f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0} = 829.44$ kN
- Lochleibungstragfähigkeit einschl. Blockversagen: $\min(\Sigma F_{b,Rd}, V_{eff,Rd}) = 341.3$ kN

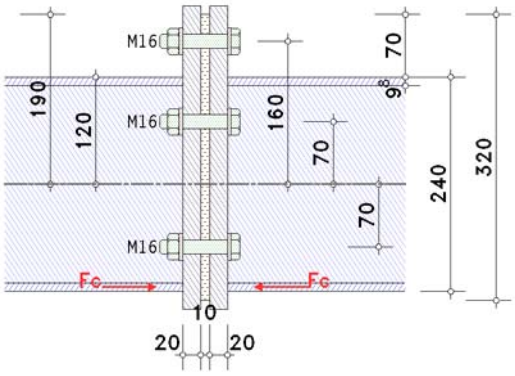
Reihe 2
- Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 230.40$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$
- Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 230.40$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$
- Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 460.80$ kN

Reihe 3
- Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 230.40$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$
- Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 230.40$ kN, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$
- Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 460.80$ kN

Lochleibungstragfähigkeiten (3 Reihen)
- $\Sigma F_{b,Rd,1} = 341.33$ kN
- $\Sigma F_{b,Rd,2} = 460.80$ kN
- $\Sigma F_{b,Rd,3} = 460.80$ kN

4.3.7. 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.
Das Berechnungsverfahren gilt ebenso für den Anschluss eines Stahlträgers an eine Stahlbetonstütze.
Die Schrauben werden mit dem Gewinde in der Scherfuge nachgewiesen.

effektive Trennschichtlänge $h_m = 75.0$ mm
mittlere Druckspannung $\sigma_m = 5.47$ N/mm²

Nachweis der Trennschicht:

Formfaktor S = 1.971 für 2 Schrauben im Druckbereich
zulässige mittlere Druckspannung $\sigma_{m,zul} = 9.80$ N/mm²
Auslastung der Trennschicht 0.559 < 1 ok

Nachweis der Schrauben:

Abscherkraft: $F_{Ed} = V_{Ed} / n_d = 8.3$ kN
Biegemoment: $M_{Ed} = V_{Ed} \cdot t_e / n_d = 0.08$ kNm

Abscheren

Abschertragfähigkeit je Scherfuge $F_{v,Rd} = (0.5 \cdot f_{up} \cdot A) / \gamma_{M2} = 62.80$ kN
$F_{v,Ed} = F_{Ed} = 8.3$ kN < $F_{v,Rd} = 62.80$ kN ⇒ U = 0.132 < 1 ok

Biegung

Biegewiderstand $M_{Rd} = (0.9 \cdot f_{yp} \cdot W_{el}) / \gamma_{M0} = 0.225$ kNm
$M_{Ed} = 0.08$ kNm < $M_{Rd} = 0.225$ kNm ⇒ U = 0.369 < 1 ok

Kombination von Abscheren und Biegung

$(F_{v,Ed}/F_{v,Rd})^2 + (M_{Ed}/M_{Rd})^2 = 0.154$ < 1 ok

Tragfähigkeit eines Stirnblechstoßes mit thermischer Trennschicht:

$F_{c,e,Rd} = A_{eff} \cdot f_e / \gamma_{Me} = 86.9$ kN, $A_{eff} = 88.73$ cm², $f_e = \sigma_{m,zul} = 9.80$ N/mm², $\gamma_{Me} = 1.00$

4.4. Anschlusstragfähigkeit

4.4.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 275.1$ mm, $h_2 = 185.1$ mm, $h_3 = 45.1$ mm

Tragfähigkeiten nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet
maßgebende Grundkomponenten: 5, 8
Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 175.9$ kN
Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN
Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stirnblech)
maßgebende Grundkomponenten: 5, 8
Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 432.0$ kN — $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN $<$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN
Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 612.5$ kN — $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN $<$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN
Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN
Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 226.1$ kN (Reihe 2)
Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 205.9$ kN — $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN $>$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN
Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 386.4$ kN — $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN $<$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN
Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)
Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 175.9$ kN
Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN
Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN
$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 607.8$ kN

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(7)
maßgebende Grundkomponente: 7, 15
Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 374.3$ kN — $F_{tr,Rd} = 175.9$ kN $<$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 175.9$ kN
Gk 15: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,e,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 86.9$ kN — $F_{tr,Rd} = 175.9$ kN $>$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 86.9$ kN
Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 86.9$ kN
Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 86.9$ kN (Reihe 1)
Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 287.3$ kN — $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN $<$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN
Gk 15: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,e,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 0.0$ kN — $F_{tr,Rd} = 226.1$ kN $>$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 86.9$ kN (Reihen 1 bis 2)
Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 287.3$ kN — $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN $<$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN
Gk 15: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,e,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 0.0$ kN — $F_{tr,Rd} = 205.9$ kN $>$ $\Delta F_{tr,Rd}$ $\Rightarrow$ $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN

Kontrolle nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(9)
maßgebende Grundkomponente: 10
Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 86.9$ kN, $h_x = 275.1$ mm $\Rightarrow$ $F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 214.8$ kN, keine Abminderung
Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 86.9$ kN

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)
Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 86.9$ kN
Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 0.0$ kN
$\Sigma F_{tr,Rd} = 86.9$ kN
Mögliches Versagen durch Grundkomponente 5, 15

Tragfähigkeit der Flansche
$\Sigma F_{c,Rd}^* = 173.9$ kN

Biegetragfähigkeit
$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 23.9$ kNm
Zugtragfähigkeit
$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 607.8$ kN
Drucktragfähigkeit
$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 173.9$ kN

4.4.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe
Reihe 1: $F_{vr,Rd}$ = 140.0 kN
Reihe 2: $F_{vr,Rd}$ = 193.0 kN
Reihe 3: $F_{vr,Rd}$ = 193.0 kN
$\Sigma F_{vr,Rd}$ = 526.0 kN

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit
$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd}$ = 526.0 kN

4.4.3. Gesamt

$M_{j,Rd}$ = 23.9 kNm $N_{j,t,Rd}$ = 607.8 kN $N_{j,c,Rd}$ = 173.9 kN $V_{j,Rd}$ = 526.0 kN

4.5. Nachweise

4.5.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

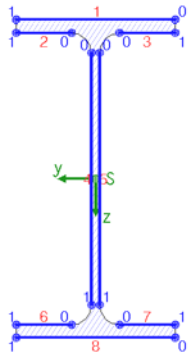
Normalkraft: $N_{b,Ed} = |N_d|$ = 21.38 kN < 5%·$N_{pl,Rd}$ = 45.96 kN ⇒ Biegetragfähigkeit
Biegemoment: $M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu}$ = 14.17 kNm, z_{bu} = 115.1 mm
Querkraft: $V_{Ed} = |V_d|$ = 16.60 kN
Schubkraft: $V_{b,w,Ed}$ = 16.60 kN

$M_{Ed}/M_{j,Rd}$ = 0.593 < 1 ok
Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit bei nur 59.3%-iger Ausnutzung der Biegetragfähigkeit $V_{j,Rd}$ = 547.6 kN
$V_{Ed}/V_{j,Rd}$ = 0.030 < 1 ok

4.5.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen
Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen
Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen
Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig
Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1: a_w = 4.0 mm l_w = 120.0 mm
Naht 2: a_w = 4.0 mm l_w = 41.9 mm
Naht 3: siehe Naht 2
Naht 4: a_w = 4.0 mm l_w = 190.4 mm
Naht 5: siehe Naht 4
Naht 6: a_w = 4.0 mm l_w = 41.9 mm
Naht 7: siehe Naht 6
Naht 8: a_w = 4.0 mm l_w = 120.0 mm

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:
N_{Ed} = -21.38 kN, $M_{y,Ed}$ = -16.63 kNm, $V_{z,Ed}$ = 16.60 kN
Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:
ΣA_w = 31.54 cm², $A_{w,z}$ = 15.23 cm², Σl_w = 78.8 cm
$I_{w,y}$ = 2656.70 cm⁴, $I_{w,z}$ = 228.70 cm⁴, Δz_w = 0.0 mm
Schnittgrößenverteilung:
Naht 1: N_w = 32.81 kN
Naht 2: N_w = 10.43 kN
Naht 3: siehe Naht 2
Naht 4: N_w = -5.16 kN $M_{y,w}$ = -1.44 kNm
Naht 5: siehe Naht 4
Naht 6: N_w = -12.70 kN
Naht 7: siehe Naht 6
Naht 8: N_w = -39.32 kN
aus konventioneller Querkraftaufteilung: $V_{z,w}$ = 16.60 kN
Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

Naht 1,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = 68.35 N/mm²		⇒ U_w = 0.268 < 1 ok
Naht 2,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = 62.21 N/mm²		⇒ U_w = 0.244 < 1 ok
Naht 4,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = 52.82 N/mm²	$\tau_{w,z}$ = 10.90 N/mm²	⇒ U_w = 0.214 < 1 ok
	Pkt. 1:	$\sigma_{w,x}$ = -66.38 N/mm²	$\tau_{w,z}$ = 10.90 N/mm²	⇒ U_w = 0.266 < 1 ok
Naht 6,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = -75.77 N/mm²		⇒ U_w = 0.298 < 1 ok
Naht 8,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = -81.91 N/mm²		⇒ U_w = 0.322 < 1 ok

Ergebnis:
Naht 8, Pkt. 0: $\sigma_{w,x}$ = -81.91 N/mm²
Max: $\sigma_{1,w,Ed}$ = 115.83 N/mm² < $f_{1w,d}$ = 360.00 N/mm²,
$\sigma_{2,w,Ed}$ = 57.92 N/mm² < $f_{2w,d}$ = 259.20 N/mm² ⇒ U_w = 0.322 < 1 ok

4.5.3. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: max U = 0.593 < 1 ok

5. Endergebnis

Thermische Trennschicht [Lk 2]: max U_e = 0.606 < 1 ok
Maximale Ausnutzung [Lk 2]: max U = 0.674 < 1 ok

Nachweis erbracht

6. 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