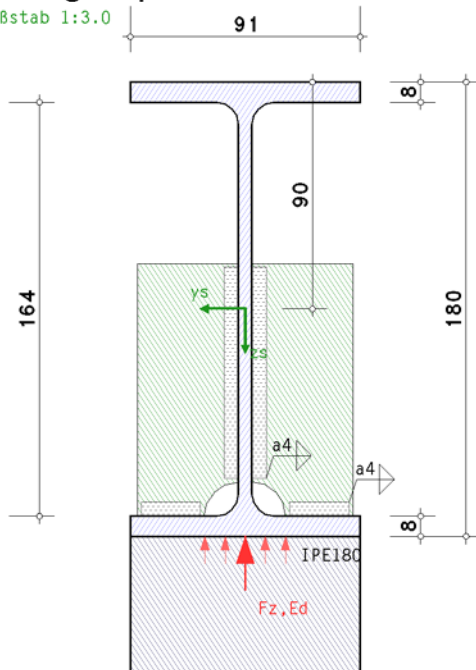


1. Eingabeprotokoll

Maßstab 1:3.0



Stahlsorte

Stahlgüte S235

Querschnitt

Träger: Profil IPE180

Querstreifen zur Aussteifung der Lasteinleitung: Dicke $t_{st,q} = 20.0$ mm, Breite $b_{st,q} = 40.0$ mm, Länge $l_{st,q} = 100.0$ mm

Aussparung an der Quersteife $c_{st,q} = 13.5$ mm

Schweißnahtdicke $a_{st,q} = 4.0$ mm

Abstand der Querstreifen $a = 400.0$ mm

Belastung

Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT):

Lk 1: $M_{y,Ed} = -28.4$ kNm, $V_{z,Ed} = 29.0$ kN

Lk 2: $M_{y,Ed} = 33.1$ kNm, $V_{z,Ed} = -54.0$ kN

Schnittgrößen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG):

Lk 1: $M_{y,Ed} = -28.4$ kNm, $V_{z,Ed} = 29.0$ kN

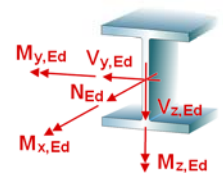
Querbelastrung auf dem Untergurt:

vertikale Einzellast $F_{z,Ed,GZT} = 52.30$ kN, $F_{z,Ed,GZG} = 52.30$ kN an einem Auflager, wirksame Lagerlänge $b_{eff} = 200.0$ mm

Nachweis am Zwischenauflager

Materialsicherheitsbeiwerte

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



2. Nachweis der Lasteinleitung

Voraussetzung: Flanschinduziertes Stegbeulen ist ausgeschlossen.

Voraussetzung: Platten-/Schubbeulen ist ausgeschlossen.

Voraussetzung: Querstreifen dienen als starre Lagerung des Blechfelds.

Voraussetzung: Lokales Beulen der Steifen ist ausgeschlossen.

Querschnittswerte

$A = 23.95$ cm², $z_s = 90.0$ mm, $I_y = 1316.97$ cm⁴, $y_s = 0.0$ mm, $I_z = 100.85$ cm⁴

Lasteinzugsbreite durch den Träger $s_s' = 2 \cdot t_f + t_w + 1.172 \cdot r = 31.8$ mm, $t_f = 8.0$ mm

Lasteinzugsbreite durch das Auflager $s_s = b_{eff} = 200.0$ mm

Zur Info: Lagerpressung $F_{z,Ed,GZT}/(s_s \cdot s_s') = 8.21$ N/mm², $F_{z,Ed,GZG}/(s_s \cdot s_s') = 8.21$ N/mm²

wirksame Lasteinleitungslänge $l_{eff} = s_s + 2 \cdot t_f = 216.0$ mm, $t_f = 8.0$ mm

Länge der starren Lasteinleitung

bezogen auf die Flanschaußenkante $s_s = l_{eff} - 2 \cdot t_f = 200.0$ mm / auf den Steganschnitt $s_w = l_{eff} + 2 \cdot r = 234.0$ mm

2.1. Stegpressung (GZT)

zulässige Spannungen

$$\sigma_{Rd} = f_y / \gamma_{M0} = 235.0 \text{ N/mm}^2, \quad \tau_{Rd} = f_y / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 135.7 \text{ N/mm}^2$$

Lastübertragung durch Quersteifen (Rippen)

Die Schweißnähte werden mit dem richtungsbezogenen Verfahren nachgewiesen.

Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

$$b_R = b_{st} = 40.0 \text{ mm}, \quad b_1 = b_R - r_R = 26.5 \text{ mm}, \quad e_F = b_R - 0.5 \cdot b_1 = 26.7 \text{ mm} \quad \text{mit } r_R = 13.5 \text{ mm}$$

zweiseitiger Rippenanschluss:

$$l_R = l_{st} = 100.0 \text{ mm}, \quad l_1 = l_R - r_R = 86.5 \text{ mm}, \quad e_H = l_R - l_1 / 3 = 71.2 \text{ mm}, \quad t_R = 20.0 \text{ mm}$$

$$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_F - 2 \cdot r \cdot t_w) / b_F = 19.5 \text{ kN}, \quad H = F \cdot e_F / e_H = 7.3 \text{ kN}$$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet (Nachweisverfahren 'Elastisch-Elastisch' $\Rightarrow$ max. Q-Klasse 3)

$$c/t\text{-Verhältnis } c/t = 2.00 \leq 9.00 = 9 \cdot \varepsilon, \quad \varepsilon = (235/f_y)^{1/2} = 1.00 \Rightarrow \text{Q-Klasse } 1 \leq 3 \Rightarrow \text{Voraussetzung erfüllt !!}$$

Querschnitt am Flansch

$$\text{Drucktragfähigkeit } N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 124.55 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 23.2 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 23.2 \text{ kN} < F_{Rd} = 124.6 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.186 < 1 \quad \text{ok}$$

Querschnitt am Steg

$$\text{Drucktragfähigkeit } N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 470.00 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (H^2 + 3 \cdot F^2)^{1/2} = 34.5 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 34.5 \text{ kN} < F_{Rd} = 470.0 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.073 < 1 \quad \text{ok}$$

Schweißnähte am Flansch

Kehlnaht mit $a = 4.0 \text{ mm}$

$$\text{Bemessungsgrößen: } F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 3.67 \text{ kN/cm}, \quad F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 1.38 \text{ kN/cm}$$

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche: $\sigma_s = 9.18 \text{ kN/cm}^2$ $\tau_p = 3.45 \text{ kN/cm}^2$

$$\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_s^2 + 3 \cdot (\tau_p^2 + \tau_p^2))^{1/2} = 10.95 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): } f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 36.00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = 10.95 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.304 < 1 \quad \text{ok}$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = |\sigma_s| = 9.18 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.2): } f_{2w,d} = 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 25.92 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = 9.18 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.354 < 1 \quad \text{ok}$$

Schweißnähte am Steg

Kehlnaht mit $a = 4.0 \text{ mm}$

$$\text{Bemessungsgrößen: } F_{Ed}(\sigma_s) = H / (2 \cdot l_1) = 0.42 \text{ kN/cm}, \quad F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 1.12 \text{ kN/cm}$$

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 3.7 \text{ mm} \quad \text{!!}$

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche: $\sigma_s = 1.06 \text{ kN/cm}^2$ $\tau_p = 2.81 \text{ kN/cm}^2$

$$\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_s^2 + 3 \cdot (\tau_p^2 + \tau_p^2))^{1/2} = 4.98 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): } f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 36.00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = 4.98 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.138 < 1 \quad \text{ok}$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = |\sigma_s| = 1.06 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.2): } f_{2w,d} = 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 25.92 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = 1.06 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.041 < 1 \quad \text{ok}$$

Gesamt: Ausnutzung der Rippen $U_R = 0.354 < 1 \quad \text{ok}$

Spannungen am Steganschnitt

lokale Querspannungen $\sigma_{oz,Ed} = 0 \text{ N/mm}^2$

Lk 1: $M_{y,Ed} = 28.4 \text{ kNm}$, $V_{z,Ed} = -29.0 \text{ kN}$

Normalspannung $\sigma_{x,Ed} = -157.4 \text{ N/mm}^2$

$$|\sigma_{x,Ed}| = 157.4 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.670 < 1 \quad \text{ok}$$

Schubspannung $\tau_{xz,Ed} = 25.8 \text{ N/mm}^2$

$$|\tau_{xz,Ed}| = 25.8 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.190 < 1 \quad \text{ok}$$

$$\text{Vergleichsspannung } \sigma_v = (\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{oz,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{oz,Ed} + 3 \cdot \tau_{xz,Ed}^2)^{1/2} = 163.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_v = 163.6 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.696 < 1 \quad \text{ok}$$

Lk 2: $M_{y,Ed} = -33.1 \text{ kNm}$, $V_{z,Ed} = 54.0 \text{ kN}$

Normalspannung $\sigma_{x,Ed} = 183.5 \text{ N/mm}^2$

$$|\sigma_{x,Ed}| = 183.5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.781 < 1 \quad \text{ok}$$

Schubspannung $\tau_{xz,Ed} = 48.0 \text{ N/mm}^2$

$$|\tau_{xz,Ed}| = 48.0 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.354 < 1 \quad \text{ok}$$

$$\text{Vergleichsspannung } \sigma_v = (\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{oz,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{oz,Ed} + 3 \cdot \tau_{xz,Ed}^2)^{1/2} = 201.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_v = 201.4 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.857 < 1 \quad \text{ok}$$

Ausnutzung am Steganschnitt $\max U_\sigma = 0.857 < 1 \quad \text{ok}$

Maximale Ausnutzung: $\max U_{GZT} = 0.857 < 1 \quad \text{ok}$

2.2. Querlastbeulen (GZT)

Quersteifen zum Lastabtrag nicht wirksam (nicht zwischenliegend)

Beulfeld $a = 4000.0 \text{ mm}$, $h_w = 164.0 \text{ mm}$, $t_w = 5.3 \text{ mm}$

Beulwert $k_F = 3.5 + 2 \cdot (h_w/a)^2 = 3.50$ (Typ (b))

$$\text{kritische Beullast } F_{cr} = k_F \cdot \sigma_E \cdot t_w \cdot h_w = 603.6 \text{ kN}, \quad \sigma_E = \pi^2 \cdot E / (12 \cdot (1 - \mu^2)) \cdot (t/b')^2 = 198.2 \text{ N/mm}^2, \quad b' = 164.0 \text{ mm}$$

$$\text{wirksame Lastausbreitungslänge } l_y = s_s + 2 \cdot t_F \cdot (1 + m_1)^{1/2} = 282.3 \text{ mm}, \quad m_1 = b_F / t_w = 17.17$$

$$\text{Fließlast } F_y = f_y \cdot t_w \cdot l_y = 351.6 \text{ kN}$$

Schlankheitsgrad $\lambda_F = (F_y/F_{cr})^{1/2} = 0.763$

Abminderungsfaktor $\chi_F = 0.5/\lambda_F = 0.655$

wirksame Beullänge $L_{eff} = \chi_F \cdot l_y = 184.9 \text{ mm}$

Beulwiderstand $F_{z,Rd} = f_y \cdot L_{eff} \cdot t_w / \gamma_{M1} = 209.40 \text{ kN}$

Nachweis

$F_{z,Ed}/F_{z,Rd} = 0.250 < 1$ **ok**

Interaktion (ohne Platten-/Schubbeulen)

Querbelastrung und Vergleichsspannung $(\eta_2 + 0.8 \cdot \eta_1) / 1.4 = 0.668 < 1$ **ok**

mit $\eta_2 = F_{z,Ed}/F_{z,Rd} = 0.250$, $\eta_1 = \max U_\sigma = 0.857$

3. Endergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.857 < 1$ **ok**

Nachweis erbracht