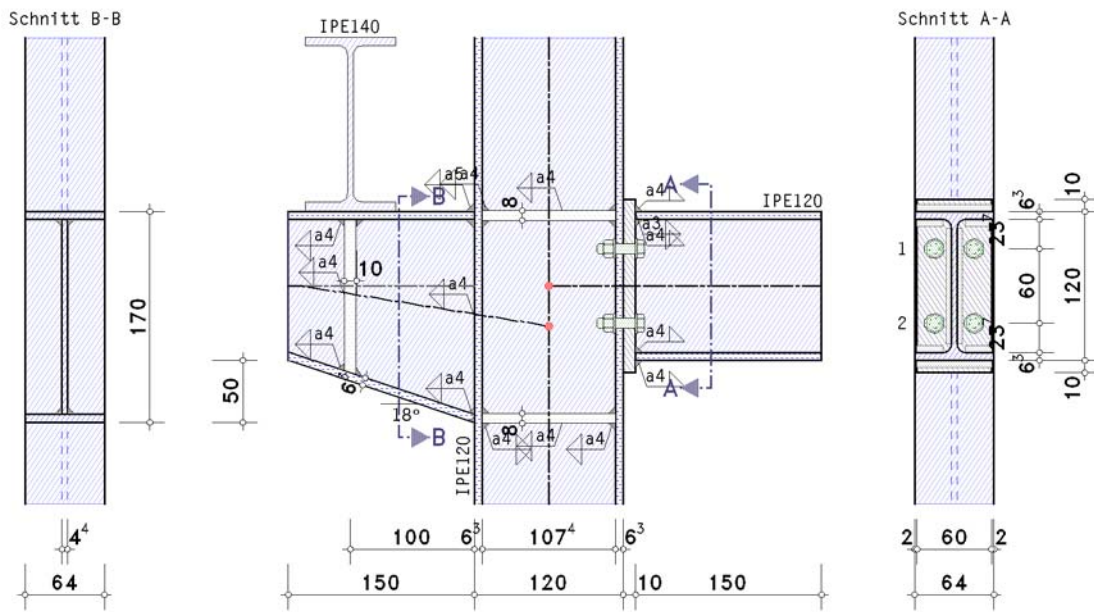
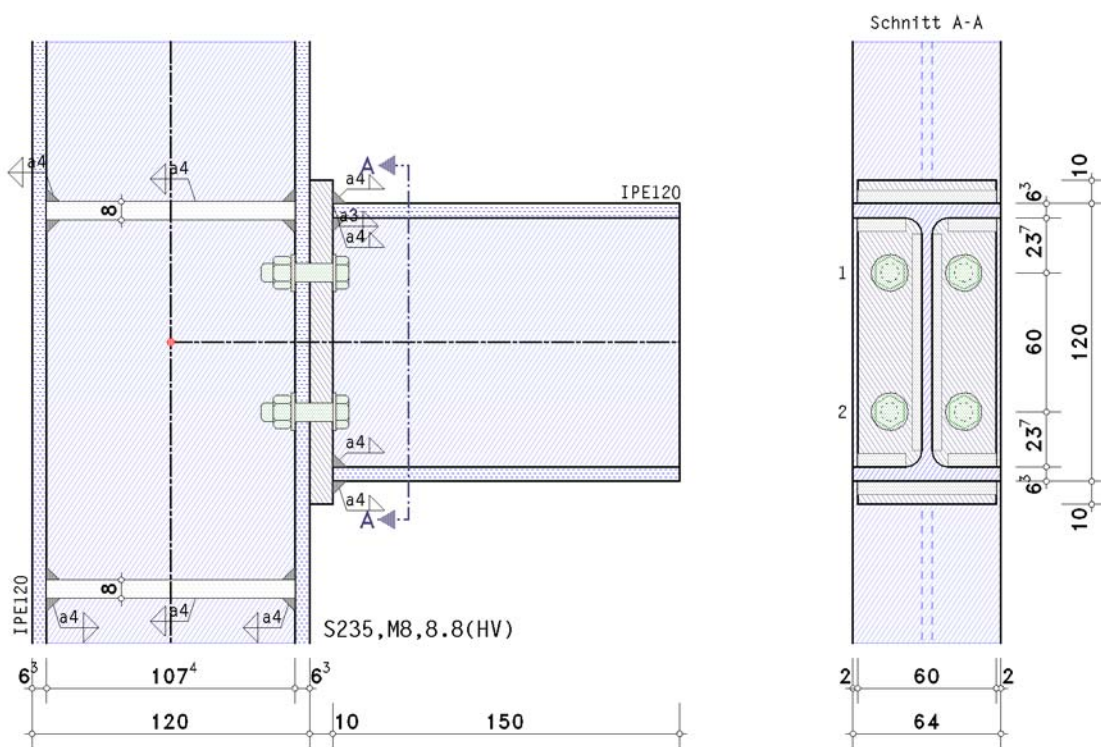


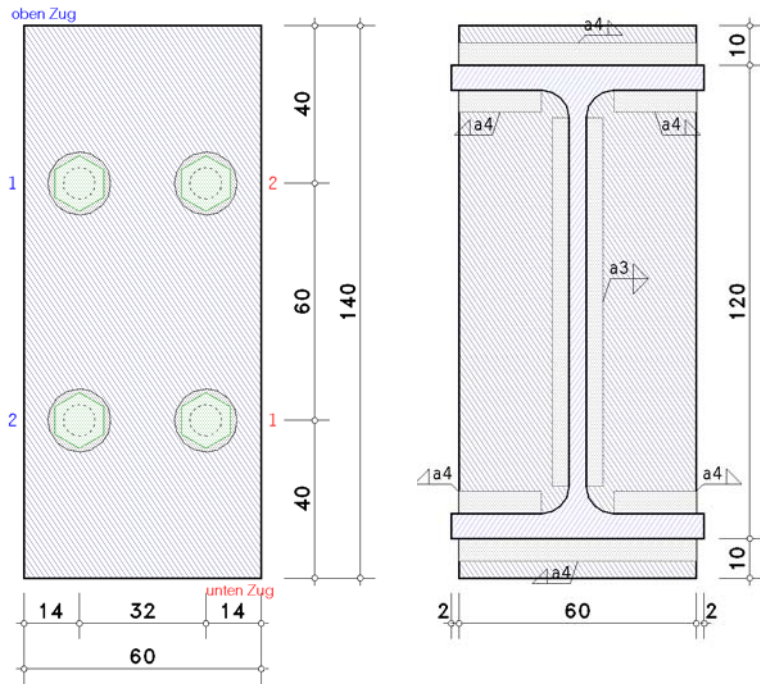
1. Eingabeprotokoll



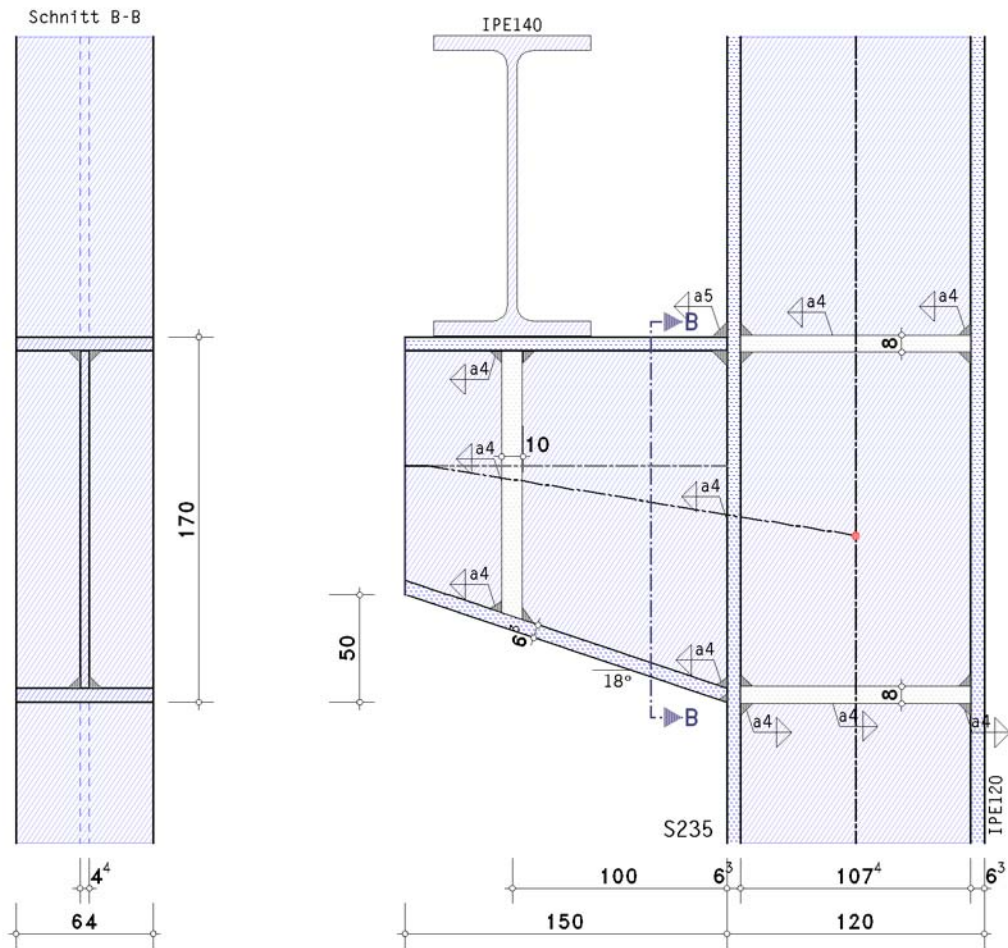
Konsole rechts

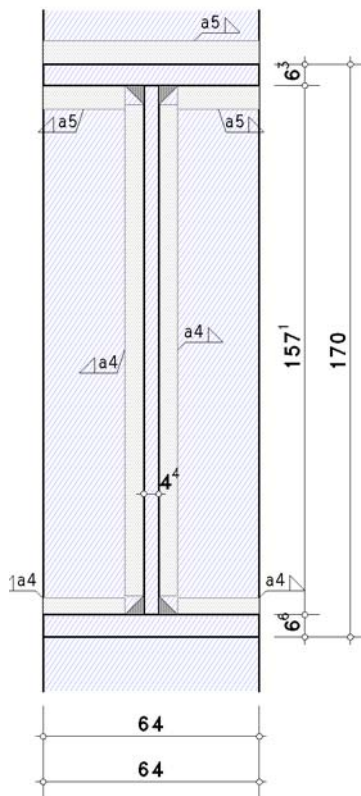


Details (Schnitt A - A)



Konsole links





Stahlsorte

Stahlgüte S235

Parameter der Stütze

Profil IPE120

Verstärkung des Profils durch Quersteifen (Stegsteifen in Höhe des max. Trägerzug- und -druckflanschs, $d_{st} = 163.5$ mm):

Dicke $t_{st} = 8.0$ mm, Breite $b_{st} = 29.8$ mm, Länge $l_{st} = 107.4$ mm

Aussparung an den Steifen $c_{st} = 10.5$ mm

Schweißnähte $a_{st,f} = 4.0$ mm, $a_{st,w} = 4.0$ mm

Zweiseitiger Träger-Stützenanschluss

Nach EC 3-1-8, 5.3 wird bei zweiseitigen Träger-Stützen-Verbindungen jede Anschlussseite unabhängig von der anderen untersucht. Die Systemlinien der Träger treffen sich nicht in einem Punkt ($\Delta = 32.5$ mm $\neq 0$!!). EC 3-Bedingung

Anschluss rechts

Parameter des Trägers

Profil IPE120

Schrauben

Festigkeitsklasse 8.8, Schraubengröße M8

große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt (zur Info: Regelvorspannkraft $F_{p,c^*} = 0.7 \cdot f_{yb} \cdot A_s = 16.4$ kN)

Schaft in der Scherfuge

Schweißnähte

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 4.0$ mm

Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 3.0$ mm

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 4.0$ mm

75% der Druckspannung wird über Kontakt abgetragen

Parameter der Verbindung

geschraubter Stirnblechanschluss

Stirnblech Dicke $t_p = 10.0$ mm, Breite $b_p = 60.0$ mm, Länge $l_p = 140.0$ mm

Überstände $h_{p,o} = 10.0$ mm, $h_{p,u} = 10.0$ mm

Schrauben:

2 Schraubenreihen mit je 2 Schrauben

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 14.0$ 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) $e_u = 40.0$ mm

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 60.0$ mm

Abstand der Querbewehrung $\Delta a = 130.0$ mm

Nachweis der Lasteinleitung:

Querbewehrung auf dem Obergurt der Konsole mit der Lasteinleitungslänge $s_s = 30.0$ mm

Nachweis der Ermüdung:

Schadensäquivalenzfaktoren $\lambda_\sigma = 0.300$, $\lambda_\tau = 0.300$

Anschluss links

Parameter des Trägers

Profilparameter (I-Profil):

Gesamthöhe $h = 120.0$ mm, Stegdicke $t_w = 4.4$ mm

Flanschbreite $b_f = 64.0$ mm, Flanschdicke $t_f = 6.3$ mm

Kehlhaht $a = 4.0$ mm
 geschweißtes Profil, Kehlhahtdicke $a = 4.0$ mm
 Voute: Neigungswinkel gegen die Horizontale $\alpha_v = 18.43^\circ$
 Länge der Voute $L_v = 150.0$ mm, Voutenhöhe im Anschluss $h_v = L_v \cdot (\tan(\alpha_v) - \tan(\alpha_b)) = 50.0$ mm
 Gesamte Trägerhöhe im Anschluss $h_{ges} = h_b + h_v = 170.0$ mm
 Verstärkung des Profils durch Quersteifen:
 Dicke $t_{st} = 10.0$ mm, Breite $b_{st} = 29.8$ mm, Länge $l_{st} = 107.4$ mm
 Aussparung an den Steifen $c_{st} = 8.5$ mm
 Schweißnähte $a_{st,f} = 4.0$ mm, $a_{st,w} = 4.0$ mm

Schweißnähte

Trägerflansch oben: Kehlhaht, Nahtdicke $a = 5.0$ mm
 Trägersteg: Kehlhaht, Nahtdicke $a = 4.0$ mm
 Trägerflansch unten: Kehlhaht, Nahtdicke $a = 4.0$ mm, Öffnungswinkel $\varphi = 108^\circ$
 75% der Druckspannung wird über Kontakt abgetragen

Parameter der Verbindung

geschweißter Anschluss

Abstand der Querbelastung $\Delta a = 100.0$ mm

Nachweis der Lasteinleitung:

Querbelastung auf dem Obergurt der Konsole aus einem Lastträger (Trägerkreuzung) Profil IPE140

Nachweis der Ermüdung:

Schadensäquivalenzfaktoren $\lambda_\sigma = 1.000$, $\lambda_\tau = 1.000$

Ermittlung der Tragfähigkeiten

Nachweis der Konsole-Stützenverbindung, Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

Nachweis der Lasteinleitung, Trägerkreuzung, Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

Ermüdungsnachweise der Verbindung sowie des Konsolprofils, Grenzzustand der Ermüdung (GZE)

Konsolbelastung und Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen (GZT)

Lk	F _{1,Ed} kN	F _{2,Ed} kN
--	--	--
1	40.00	40.00

F_{1,Ed}, F_{2,Ed}: Belastung der Konsole

Konsolbelastung (GZE)

Lk	F _{1,Ed} kN	F _{2,Ed} kN
--	--	--
1	5.00	5.00
2	15.00	15.00

F_{1,Ed}, F_{2,Ed}: Belastung der Konsole

Materialsicherheitsbeiwerte (GZT)

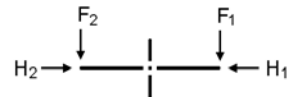
Beanspruchbarkeit von Querschnitten $\gamma_{M0} = 1.00$

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

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

Materialsicherheitsbeiwert (GZE)

Bemessungskonzept: Schadenstoleranz, Schadensfolgen: hoch $\Rightarrow$ Ermüdungsfestigkeit $\gamma_{Mf} = 1.15$



2. Nachweise rechts

2.1. Ergebnistabelle (GZT)

2.1.1. Ausnutzungen je Anschlussseite

Lk	U _j	U _i	U _{j,b}	U _{j,σ}	U _{j,τ}	U _{j,w}	U _{j,r}	U _{1,σ}	U _{1,b}	U _{1,i}	U
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1	1.374	0.884	0.640	1.339	1.374	0.618	0.795	0.828	0.575	0.884	1.374*

U_j: res. Ausnutzung aus Träger-Stütze-Anschluss; U_i: res. Ausnutzung aus Lasteinleitung; U_{j,b}: Querschnittsausnutzung Träger

U_{j,σ}: Ausnutzung aus Biegung; U_{j,τ}: Ausnutzung aus Querkraft; U_{j,w}: Ausnutzung aus Schweißnaht

U_{j,r}: Ausnutzung aus Steifen/Rippen; U_{1,σ}: Ausnutzung aus Spannungen am Steganschnitt; U_{1,b}: Ausnutzung aus Querlastbeulen

U_{1,i}: Ausnutzung aus Interaktion; U: Ausnutzung je Anschlussseite; U: Ausnutzung je Anschlussseite

*) maximale Ausnutzung je Anschlussseite

2.2. Anschluss an die Stütze (GZT)

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

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 zum Stützensteg überprüfen ($\Delta e_{wc} = -1.2$ mm ≤ 0) !!

Schraubenabstände am Stirnblech

horizontal: $e_2 = 14.0$ mm $> 1.2 \cdot d_0 = 10.8$ mm,

horizontal: $p_2 = 32.0$ mm $> 2.4 \cdot d_0 = 21.6$ mm,

oben-unten: $e_1 = 40.0$ mm $> 1.2 \cdot d_0 = 10.8$ mm,

oben-unten: $p_1 = 60.0$ mm $> 2.2 \cdot d_0 = 19.8$ mm,

oben-unten: $e_1 = 40.0$ mm $> 1.2 \cdot d_0 = 10.8$ mm,

$e_2 = 14.0$ mm $< 4 \cdot t + 40$ mm $= 65.2$ mm

$p_2 = 32.0$ mm $< \min(14 \cdot t, 200$ mm $) = 88.2$ mm

$e_1 = 40.0$ mm $< 4 \cdot t + 40$ mm $= 65.2$ mm

$p_1 = 60.0$ mm $< \min(14 \cdot t, 200$ mm $) = 88.2$ mm

$e_1 = 40.0$ mm $< 4 \cdot t + 40$ mm $= 65.2$ mm

Schraubenabstand vom Stützenrand

horizontal: $e_2 = 16.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 10.8 \text{ mm}$, $e_2 = 16.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 65.2 \text{ mm}$

2.2.1. Ergebnistabelle

Ausnutzung

Lk	$U_{\sigma,b}$	U_m	U_v	U_{wp}	U_{ep}	U_{sb}	U_{ss}	U
1	0.640	1.339	1.374	0.937	0.343	0.618	0.795	1.374*

$U_{\sigma,b}$: Spannungsausnutzung am Träger; U_m : Ausnutzung aus Biegung; U_v : Ausnutzung aus Abscheren/Lochleibung

U_{wp} : Ausnutzung aus Schub im Stützensteg; U_{ep} : Ausnutzung aus Schub im Stirnblech; U_{sb} : Ausnutzung aus Schweißnaht

U_{ss} : Ausnutzung aus Steifen/Rippen; U: Ausnutzung der Verbindung

*) maximale Ausnutzung

2.2.2. Endergebnis

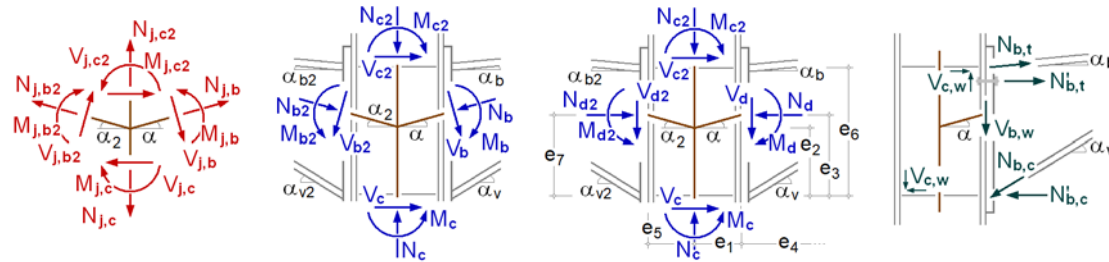
Maximale Ausnutzung: $\max U = 1.374 > 1$ **nicht ok !!**

2.2.3. Lk 1 (maßgebend)

2.2.3.1. Bemessungsgrößen

Knotenschnittgrößen Anschnitt Anschluss $\perp$ zur Anschlussebene

Teilschnittgrößen



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

Abstände: $e_1 = 60.0 \text{ mm}$, $e_3 = 56.8 \text{ mm}$, $e_2 = 56.8 \text{ mm}$, $e_6 = 113.7 \text{ mm}$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger

$M_d = 5.60 \text{ kNm}$, $V_d = 40.00 \text{ kN}$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_d \cdot t_p = 5.20 \text{ kNm}$

$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b = 45.73 \text{ kN}$, $z_b = 113.7 \text{ mm}$, $z_{bu} = 56.9 \text{ mm}$

$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b = 45.73 \text{ kN}$, $z_b = 113.7 \text{ mm}$, $z_{bo} = 56.9 \text{ mm}$

$V_{b,t} = -N_{b,t} \cdot \sin(\alpha_b) = 0.00 \text{ kN}$, $V_{b,c} = N_{b,c} \cdot \sin(\alpha_v) = 0.00 \text{ kN}$, $V_{b,w} = V_d - V_{b,t} - V_{b,c} = 40.00 \text{ kN}$

2.2.3.2. Querschnittstragfähigkeit im Anschnitt

elastischer Spannungsnachweis für $M_y = -5.20 \text{ kNm}$, $V_z = 40.00 \text{ kN}$

Nachweis: $\sigma_v = 150.35 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{v,Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_\sigma = 0.640 < 1$ **ok**

c/t-Verhältnis: einseitig gestützt: Ausnutzung $U_{c/t} = 0.165 < 1$ **ok**

beidseitig gestützt: Ausnutzung $U_{c/t} = 0.098 < 1$ **ok**

2.2.3.3. Anschlussstragfähigkeit

Übertragungsparameter: $\beta_j = 1.00$

2.2.3.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 86.8 \text{ mm}$, $h_2 = 26.9 \text{ mm}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 73.5 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd} = 73.5 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 4

Tragfähigkeit der Flansche

$\Sigma F_{c,Rd}^* = 164.5 \text{ kN}$

Biegetragfähigkeit

$$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 4.2 \text{ kNm}$$

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 73.5 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 164.5 \text{ kN}$$

2.2.3.3.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

$$\text{Reihe 1: } F_{vr,Rd} = 14.6 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 2: } F_{vr,Rd} = 14.6 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_{vr,Rd} = 29.1 \text{ kN}$$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 29.1 \text{ kN}$$

2.2.3.3.3. Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

$$\text{Stirnblech: } V_{ep,Rd} = 126.72 \text{ kN}$$

$$\text{Schweißnähte: } F_{w,Rd} = 116.48 \text{ kN}$$

$$\text{Schubtragfähigkeit des Stirnblechs: } V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 116.48 \text{ kN}$$

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

$$V_{wp,Rd} = 82.2 \text{ kN}$$

2.2.3.3.4. Gesamt

$$M_{j,Rd} = 4.2 \text{ kNm} \quad N_{j,t,Rd} = 73.5 \text{ kN} \quad N_{j,c,Rd} = 164.5 \text{ kN} \quad V_{j,Rd} = 29.1 \text{ kN} \quad V_{wp,Rd} = 82.2 \text{ kN} \quad V_{ep,Rd} = 116.5 \text{ kN}$$

2.2.3.4. Nachweise

2.2.3.4.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

$$\text{Biegemoment: } M_{Ed} = M_d = 5.60 \text{ kNm}$$

$$\text{Querkraft: } V_{Ed} = |V_d| = 40.00 \text{ kN}$$

$$\text{Schubkraft: } V_{c,w,Ed} = M_d/z - (V_{c1} - V_{c2})/2 = 77.05 \text{ kN}, \quad z = 72.7 \text{ mm}$$

$$\text{Schubkraft: } V_{b,w,Ed} = 40.00 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 1.339 > 1 \quad \text{nicht ok !!}$$

$$V_{Ed}/V_{j,Rd} = 1.374 > 1 \quad \text{nicht ok !!}$$

$$V_{c,w,Ed}/V_{wp,Rd} = 0.937 < 1 \quad \text{ok}$$

$$V_{b,w,Ed}/V_{ep,Rd} = 0.343 < 1 \quad \text{ok}$$

2.2.3.4.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

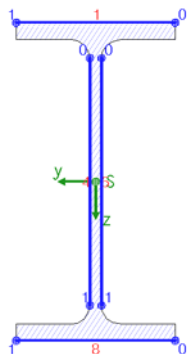
Naht 2: wirksame Nahtlänge $l_{eff} = 20.8 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \Rightarrow$ statisch nicht wirksam !!

Naht 2: wirksame Nahtlänge $l_{eff} = 20.8 \text{ mm} < 6 \cdot a = 24.0 \text{ mm} \Rightarrow$ statisch nicht wirksam !!

Naht 6: wirksame Nahtlänge $l_{eff} = 20.8 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \Rightarrow$ statisch nicht wirksam !!

Naht 6: wirksame Nahtlänge $l_{eff} = 20.8 \text{ mm} < 6 \cdot a = 24.0 \text{ mm} \Rightarrow$ statisch nicht wirksam !!

Berechnungsquerschnitt:



$$\text{Naht 1: } a_w = 4.0 \text{ mm} \quad l_w = 60.0 \text{ mm}$$

$$\text{Naht 4: } a_w = 3.0 \text{ mm} \quad l_w = 93.4 \text{ mm}$$

$$\text{Naht 5: siehe Naht 4}$$

$$\text{Naht 8: } a_w = 4.0 \text{ mm} \quad l_w = 60.0 \text{ mm}$$

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$$M_{y,Ed} = -5.60 \text{ kNm}, \quad V_{z,Ed} = 40.00 \text{ kN}$$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$$\Sigma A_w = 10.40 \text{ cm}^2, \quad A_{w,z} = 5.60 \text{ cm}^2, \quad \Sigma l_w = 30.7 \text{ cm}$$

$$I_{w,y} = 213.54 \text{ cm}^4, \quad I_{w,z} = 14.67 \text{ cm}^4, \quad \Delta z_w = 0.0 \text{ mm}$$

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

75% Spannungsabtrag über Druckkontakt

Naht 1, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 157.35 \text{ N/mm}^2$ $\Rightarrow U_w = 0.618 < 1$ ok

Naht 4, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 122.47 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 71.38 \text{ N/mm}^2$ $\Rightarrow U_w = 0.591 < 1$ ok

Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -30.62 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 71.38 \text{ N/mm}^2$ $\Rightarrow U_w = 0.364 < 1$ ok

Naht 8, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -39.34 \text{ N/mm}^2$ $\Rightarrow U_w = 0.155 < 1$ ok

Ergebnis:

Naht 1, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 157.35 \text{ N/mm}^2$

Max: $\sigma_{1,w,Ed} = 222.52 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2$,

$\sigma_{2,w,Ed} = 111.26 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.20 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.618 < 1$ ok

2.2.3.4.3. Nachweis der Stegsteifen

Drucksteife (unten)

$F_{c,Ed} = 77.05 \text{ kN}$

Kräfte je Rippe

$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 27.45 \text{ kN}$, $H = F \cdot e_F / e_H = 5.15 \text{ kN}$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: Q-Klasse 1 ≤ 3 ok

Querschnitt am Flansch

Drucktragfähigkeit $N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 36.28 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 28.86 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 28.86 \text{ kN} < F_{Rd} = 36.28 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.795 < 1$ ok

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = (A_v \cdot f_y) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 93.78 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 27.45 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 27.45 \text{ kN} < F_{Rd} = 93.78 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.293 < 1$ ok

Schweißnähte am Flansch

Bemessungsgrößen: $F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 711.11 \text{ kN/m}$, $F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 133.42 \text{ kN/m}$, $b_1 = 19.3 \text{ mm}$

75% Spannungsabtrag über Druckkontakt

$\sigma_{1,w,Ed} = 46.73 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.130 < 1$ ok

$\sigma_{2,w,Ed} = 44.44 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.20 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.171 < 1$ ok

Schweißnähte am Steg

Bemessungsgröße: $F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 158.85 \text{ kN/m}$, $l_1 = 86.4 \text{ mm}$

75% Spannungsabtrag über Druckkontakt

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 3.1 \text{ mm}$ (Schweisstechnik, s. DIN 18800) !!

$\sigma_{1,w,Ed} = 17.20 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.048 < 1$ ok

Zugsteife (oben)

$F_{t,Ed} = 77.05 \text{ kN}$

Kräfte je Rippe

$F = 0.5 \cdot F_{t,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 27.45 \text{ kN}$, $H = F \cdot e_F / e_H = 5.15 \text{ kN}$

Querschnitt am Flansch

Zugtragfähigkeit $N_{t,Rd} = 36.28 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 28.86 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 28.86 \text{ kN} < F_{Rd} = 36.28 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.795 < 1$ ok

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = (A_v \cdot f_y) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 93.78 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 27.45 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 27.45 \text{ kN} < F_{Rd} = 93.78 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.293 < 1$ ok

Schweißnähte am Flansch

Bemessungsgrößen: $F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 711.11 \text{ kN/m}$, $F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 133.42 \text{ kN/m}$, $b_1 = 19.3 \text{ mm}$

$\sigma_{1,w,Ed} = 186.93 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.519 < 1$ ok

$\sigma_{2,w,Ed} = 177.78 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.20 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.686 < 1$ ok

Schweißnähte am Steg

Bemessungsgröße: $F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 158.85 \text{ kN/m}$, $l_1 = 86.4 \text{ mm}$

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 3.1 \text{ mm}$ (Schweisstechnik, s. DIN 18800) !!

$\sigma_{1,w,Ed} = 68.78 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.191 < 1$ ok

2.2.3.4.4. Nachweisergebnis

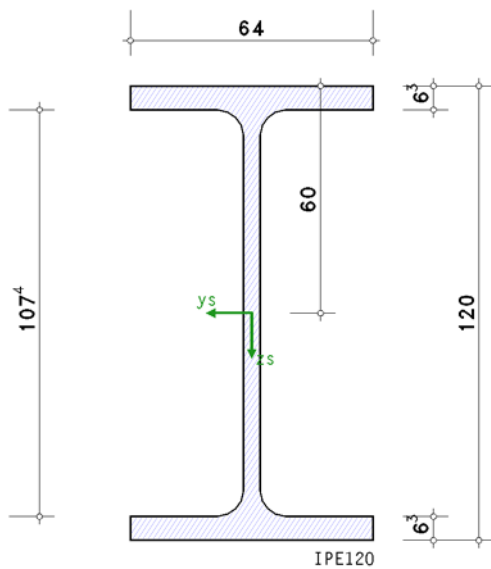
Maximale Ausnutzung: $\max U = 1.374 > 1$ nicht ok !!

Versagen beim Nachweis für Biegung: $U = 1.339$

Versagen beim Nachweis für Abscheren/Lochleibung: $U = 1.374$

2.3. Lasteinleitung in die Konsole (GZT)

Sonderprobleme nach Eurocode 3 EC 3-1-5 (10.19), NA: Deutschland



Voraussetzung: Flanschinduziertes Stegbeulen ist ausgeschlossen.
Voraussetzung: Platten-/Schubbeulen ist ausgeschlossen.

2.3.1. Ergebnistabelle

Lk	$F_{z,Ed}$ kN	V_{Ed} kN	U_{σ}	U_b	U_i	U
1	40.00	40.00	0.828	0.575	0.884	0.884*

$F_{z,Ed}$: vertikale Einzellast aus einem Lastträger; V_{Ed} : Bemessungsgrößen im Querschnitt; U_{σ} : Ausnutzung aus Spannungen am Steganschnitt
 U_b : Ausnutzung aus Querlastbeulen; U_i : Ausnutzung aus Interaktion; U : Ausnutzung aus Lasteinleitung
(*) maximale Ausnutzung

2.3.2. Endergebnis

Maximale Ausnutzung [Lk 1]: $\max U = 0.884 < 1$ ok

2.3.3. Lk 1 (maßgebend)

Querschnittswerte: $A = 13.21 \text{ cm}^2$, $z_s = 60.0 \text{ mm}$, $I_y = 317.76 \text{ cm}^4$, $y_s = 0.0 \text{ mm}$, $I_z = 27.67 \text{ cm}^4$

Lasteinzugsbreite durch den Träger $s_s' = 2 \cdot t_f + t_w + 1.172 \cdot r = 25.2 \text{ mm}$

Zur Info: Lagerpressung $F_{z,Ed,GZT}/(s_s \cdot s_s') = 52.91 \text{ N/mm}^2$

wirksame Lasteinleitungslänge $l_{eff} = s_s + 2 \cdot t_f = 42.6 \text{ mm}$

Länge der starren Lasteinleitung:

bezogen auf die Flanschaußenkante $s_s = l_{eff} - 2 \cdot t_f = 30.0 \text{ mm}$ / auf den Steganschnitt $s_w = l_{eff} + 2 \cdot r = 56.6 \text{ mm}$

2.3.3.1. Stegpressung (GZT)

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

Einzellastpressung am Steganschnitt:

lokale Spannungen $\sigma_{\sigma z,Ed} = -160.6 \text{ N/mm}^2$

$|\sigma_{\sigma z,Ed}| = 160.6 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.683 < 1$ ok

Spannungen am Steganschnitt:

Querbelastrung $F_{z,Ed} = 40.0 \text{ kN}$

Schubbeulen: $h_p/t_p = 24.41 \leq 72 \cdot \epsilon/\eta = 60.00$ ok

Lk 1: $V_{z,Ed} = 40.0 \text{ kN}$

Spannungen $\tau_{xz,Ed} = 63.4 \text{ N/mm}^2$

$|\tau_{xz,Ed}| = 63.4 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.468 < 1$ ok

$\sigma_v = 194.6 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.828 < 1$ ok

Ausnutzung am Steganschnitt $\max U_{\sigma} = 0.828 < 1$ ok

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.828 < 1$ ok

2.3.3.2. Querlastbeulen (GZT)

Schlankheitsgrad $\lambda_F = (F_y/F_{cr})^{1/2} = 0.326$, $F_y = 76.5 \text{ kN}$

Abminderungsfaktor $\chi_F = 1.000$

Beulwiderstand $F_{z,Rd} = f_y \cdot L_{eff} \cdot t_w / \gamma_{M1} = 69.59 \text{ kN}$, $L_{eff} = \chi_F \cdot l_y = 74.0 \text{ mm}$, $l_y = 74.0 \text{ mm}$

Nachweis: $F_{z,Ed}/F_{z,Rd} = 0.575 < 1$ ok

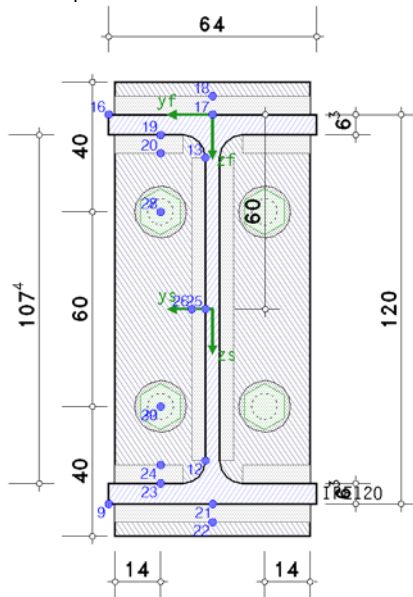
Interaktion (ohne Platten-/Schubbeulen):

Querbelastrung und Vergleichsspannung $(\eta_2 + 0.8 \cdot \eta_1) / 1.4 = 0.884 < 1$ ok

mit $\eta_2 = F_{z,Ed}/F_{z,Rd} = 0.575$, $\eta_1 = \max U_\sigma = 0.828$

2.4. Ermüdung der Verbindung Konsole-Stütze (GZE)

Sonderprobleme nach Eurocode 3 EC 3-1-9 (12.10), NA: Deutschland



Kerbfälle / zul. Kerbspannungen bei $N = 2 \cdot 10^6$ Schwingspielen:

Pkt	y _f mm	z _f mm	$\Delta\sigma_{x,Rd}$ N/mm ²	$\Delta\tau_{Rd}$ N/mm ²	$\Delta\sigma_{z,Rd}$ N/mm ²	Kerbpunkt	EC 3-1-9, Tab.
9	32.0	120.0	160.0	0.0	0.0	am Untergurt	8.1(2)
12	2.2	106.7	160.0	100.0	0.0	am Trägersteg	8.1(2) 8.1(6)
13	2.2	13.3	160.0	100.0	160.0	am Trägersteg	8.1(2) 8.1(6) 8.10(1)
16	32.0	0.0	160.0	0.0	0.0	am Obergurt	8.1(2)
° 17	0.0	0.0	36.0	0.0	0.0	am Blech (Obergurt)	8.5(3)
18	0.0	-5.7	80.0	0.0	0.0	am Blech (Obergurt)	8.5(1)
° 19	16.0	6.3	36.0	0.0	0.0	am Blech (Obergurt)	8.5(3)
20	16.0	12.0	80.0	0.0	0.0	am Blech (Obergurt)	8.5(1)
° 21	0.0	120.0	36.0	0.0	0.0	am Blech (Untergurt)	8.5(3)
22	0.0	125.7	80.0	0.0	0.0	am Blech (Untergurt)	8.5(1)
° 23	16.0	113.7	36.0	0.0	0.0	am Blech (Untergurt)	8.5(3)
24	16.0	108.0	80.0	0.0	0.0	am Blech (Untergurt)	8.5(1)
° 25	2.2	60.0	36.0	80.0	0.0	am Blech (Steg)	8.5(3) 8.5(8)
26	6.4	60.0	0.0	100.0	0.0	am Blech (Steg)	8.2(5)
x 27	16.0	30.0	50.0	100.0	0.0	am Blech	8.1(14) 8.1(15)
28	16.0	30.0	90.0	0.0	0.0	am Blech	8.1(10)
x 29	16.0	90.0	50.0	100.0	0.0	am Blech	8.1(14) 8.1(15)
30	16.0	90.0	90.0	0.0	0.0	am Blech	8.1(10)

°: Nachweis der Schweißnaht, x: Nachweis der Schraube

Belastung

Lk 1: $M_{y,Ed} = -0.70$ kNm, $V_{z,Ed} = 5.00$ kN

Lk 2: $M_{y,Ed} = -2.10$ kNm, $V_{z,Ed} = 15.00$ kN

2.4.1. Ermüdungsnachweis

Schraubenabstände am Stirnblech:

horizontal: $e_2 = 14.0$ mm $> 1.5 \cdot d_0 = 13.5$ mm

horizontal: $p_2 = 32.0$ mm $> 2.5 \cdot d_0 = 22.5$ mm

vertikal: $e_1 = 40.0$ mm $> 1.5 \cdot d_0 = 13.5$ mm

vertikal: $p_1 = 60.0$ mm $> 2.5 \cdot d_0 = 22.5$ mm

vertikal: $e_1 = 40.0$ mm $> 1.5 \cdot d_0 = 13.5$ mm

Querschnittswerte: $A = 13.21$ cm², $z_s = 60.0$ mm, $I_y = 317.76$ cm⁴, $y_s = 0.0$ mm, $I_z = 27.67$ cm⁴

Spannungsschwingbreiten:

Pkt. 27: $y_f = 16.0$ mm, $z_f = 30.0$ mm

$\Delta\sigma_{x,Ed} = 128.5$ N/mm² $\Delta\tau_{Ed} = 49.7$ N/mm²

Spannungsschwingbreiten infolge Ermüdung:

Pkt. 27: $y_f = 16.0$ mm, $z_f = 30.0$ mm

$\Delta\sigma_{x,f} = 38.5$ N/mm² $\Delta\tau_f = 14.9$ N/mm²

Nachweis der Kerbspannungen:

Pkt. 27: $y = 16.0$ mm, $z = 30.0$ mm

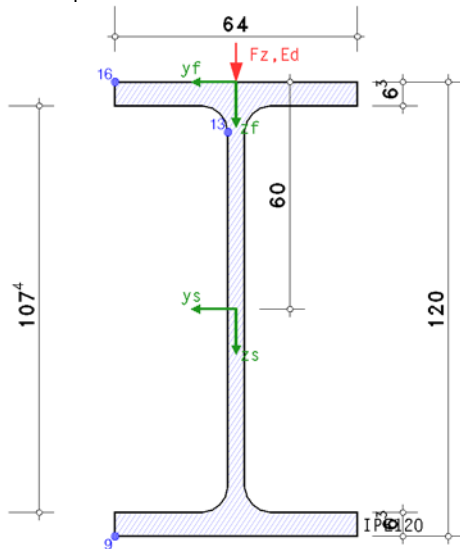
$\Delta\sigma_{x,f} = 38.5$ N/mm² $< \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 43.5$ N/mm² $\Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.887$ ok

$\Delta\tau_f = 14.9$ N/mm² $< \Delta\tau_{Rd,f} = 87.0$ N/mm² $\Rightarrow U_{\Delta\tau} = 0.172$ ok

Ermüdungsnachweis [Pkt. 27]: $\max U = 0.887 < 1$ **ok**

2.5. Ermüdung des Konsolprofils (GZE)

Sonderprobleme nach Eurocode 3 EC 3-1-9 (12.10), NA: Deutschland



Kerbfälle / zul. Kerbspannungen bei $N = 2 \cdot 10^6$ Schwingspielen:

Pkt.	yf mm	zf mm	$\Delta\sigma_{x,Rd}$ N/mm ²	$\Delta\tau_{Rd}$ N/mm ²	$\Delta\sigma_{z,Rd}$ N/mm ²	Kerbpunkt	EC 3-1-9, Tab.
9	32.0	120.0	160.0	0.0	0.0	am Untergurt	8.1(2)
13	2.2	13.3	160.0	100.0	160.0	am Trägersteg	8.1(2) 8.1(6) 8.10(1)
16	32.0	0.0	160.0	0.0	0.0	am Obergurt	8.1(2)

Belastung

Lk 1: $V_{z,Ed} = 5.00$ kN

Lk 2: $V_{z,Ed} = 15.00$ kN

Querbelastrung auf dem Obergurt: vertikale Einzellast $F_{z,Ed} = 15.0$ kN

2.5.1. Ermüdungsnachweis

Querschnittswerte: $A = 13.21$ cm², $z_s = 60.0$ mm, $I_y = 317.76$ cm⁴, $y_s = 0.0$ mm, $I_z = 27.67$ cm⁴

wirksame Lasteinleitungslänge $l_{eff} = s_s + 2 \cdot t_f = 42.6$ mm

... am Trägersteg $\sigma_{oz} = -60.2$ N/mm², $\tau_o = 12.0$ N/mm²

Spannungsschwingbreiten:

Pkt. 13: $y_f = 2.2$ mm, $z_f = 13.3$ mm $\Delta\tau_{Ed} = 42.3$ N/mm² $\Delta\sigma_{z,Ed} = 60.2$ N/mm²

Spannungsschwingbreiten infolge Ermüdung:

Pkt. 13: $y_f = 2.2$ mm, $z_f = 13.3$ mm $\Delta\tau_f = 12.7$ N/mm² $\Delta\sigma_{z,f} = 18.1$ N/mm²

Nachweis der Kerbspannungen:

Pkt. 13: $y = 2.2$ mm, $z = 13.3$ mm $\Delta\tau_f = 12.7$ N/mm² $< \Delta\tau_{Rd,f} = 87.0$ N/mm² $\Rightarrow U_{\Delta\tau} = 0.146$ **ok**
 $\Delta\sigma_{z,f} = 18.1$ N/mm² $< \Delta\sigma_{z,Rd,f} = 139.1$ N/mm² $\Rightarrow U_{\Delta\sigma z} = 0.130$ **ok**

Ermüdungsnachweis [Pkt. 13]: $\max U = 0.146 < 1$ **ok**

3. Nachweise links

3.1. Ergebnistabelle (GZT)

3.1.1. Ausnutzungen je Anschlussseite

Lk	U_j	U_i	$U_{j,b}$	$U_{j,\sigma}$	$U_{j,\tau}$	$U_{j,w}$	$U_{j,r}$	$U_{i,\sigma}$	$U_{i,r}$	U
1	0.434	0.616	0.434	0.381	0.303	0.258	0.324	0.616	0.453	0.616*

U_j : res. Ausnutzung aus Träger-Stütze-Anschluss; U_i : res. Ausnutzung aus Lasteinleitung; $U_{j,b}$: Querschnittsausnutzung Träger

$U_{j,\sigma}$: Ausnutzung aus Biegung; $U_{j,\tau}$: Ausnutzung aus Querkraft; $U_{j,w}$: Ausnutzung aus Schweißnaht

$U_{j,r}$: Ausnutzung aus Steifen/Rippen; $U_{i,\sigma}$: Ausnutzung aus Spannungen am Steganschnitt; $U_{i,r}$: Ausnutzung aus Rippen

U: Ausnutzung je Anschlussseite; U: Ausnutzung je Anschlussseite

*) maximale Ausnutzung je Anschlussseite

3.2. Anschluss an die Stütze (GZT)

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

Hinweise

Der Anschluss der Voute an den Träger wird nicht nachgewiesen.

Die Schweißnähte des geschweißten Profils werden nicht nachgewiesen.

Datencheck

ok

3.2.1. Ergebnistabelle

Ausnutzung

Lk	$U_{\sigma,b}$	U_m	U_{wp}	U_{cf}	U_{sb}	U_{ss}	U
1	0.434	0.381	0.303	0.256	0.258	0.324	0.434*

$U_{\sigma,b}$: Spannungsausnutzung am Träger; U_m : Ausnutzung aus Biegung; U_{wp} : Ausnutzung aus Schub im Stützensteg

U_{cf} : Ausnutzung aus Schub im Stützenflansch; U_{sb} : Ausnutzung aus Schweißnaht; U_{ss} : Ausnutzung aus Steifen/Rippen

U: Ausnutzung der Verbindung

*) maximale Ausnutzung

3.2.2. Endergebnis

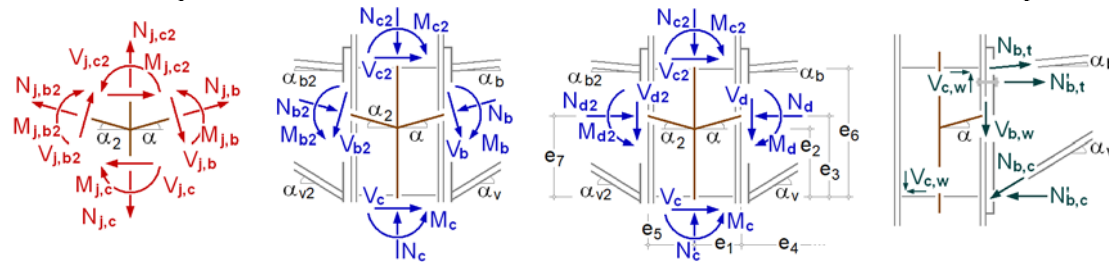
Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.434 < 1$ ok

3.2.3. Lk 1 (maßgebend)

3.2.3.1. Bemessungsgrößen

Knotenschnittgrößen Anschnitt Anschluss $\perp$ zur Anschlussebene

Teilschnittgrößen



Neigungswinkel: $\alpha_b = 0.00^\circ$, $\alpha_v = 18.43^\circ \Rightarrow \alpha = (\alpha_b + \alpha_v)/2 = 9.22^\circ$

Abstände: $e_1 = 60.0$ mm, $e_3 = 83.9$ mm, $e_2 = 74.2$ mm, $e_6 = 163.5$ mm

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger

$N_d = -12.65$ kN, $M_d = 4.00$ kNm, $V_d = 37.95$ kN

Teilschnittgrößen

$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M_d/z_b = 30.70$ kN, $z_b = 163.5$ mm, $z_{bu} = 80.6$ mm

$N_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo}/z_b + M_d/z_b) / \cos(\alpha_v) = 19.02$ kN, $z_b = 163.5$ mm, $z_{bo} = 82.9$ mm

$V_{b,t} = -N_{b,t} \cdot \sin(\alpha_b) = 0.00$ kN, $V_{b,c} = N_{b,c} \cdot \sin(\alpha_v) = 6.02$ kN, $V_{b,w} = V_d - V_{b,t} - V_{b,c} = 31.93$ kN

3.2.3.2. Querschnittstragfähigkeit im Anschnitt

elastischer Spannungsnachweis für $N = 12.65$ kN, $M_y = -4.00$ kNm, $V_z = 37.95$ kN

Nachweis: $\sigma_v = 102.01$ N/mm² < $\sigma_{v,Rd} = 235.00$ N/mm² $\Rightarrow U_\sigma = 0.434 < 1$ ok

c/t-Verhältnis: einseitig gestützt: Ausnutzung $U_{c/t} = 0.112 < 1$ ok

beidseitig gestützt: Ausnutzung $U_{c/t} = 0.110 < 1$ ok

3.2.3.3. Anschlussstragfähigkeit

Übertragungsparameter: $\beta_j = 1.00$

3.2.3.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zugkraft vom Druckpunkt: $z = 163.5$ mm

Tragfähigkeit

$F_{Rd} = 80.6$ kN

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$\Sigma F_{c,Rd}^* = 161.3$ kN

Biegetragfähigkeit

$M_{j,Rd} = F_{Rd} \cdot z = 13.2$ kNm

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,t,Rd} = F_{t,Rd} = 120.3 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 161.3 \text{ kN}$$

3.2.3.3.2. Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stützenflanschs

$$V_{cf,Rd} = 124.58 \text{ kN}$$

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

$$V_{wp,Rd} = 80.6 \text{ kN}$$

3.2.3.3.3. Gesamt

$$M_{j,Rd} = 13.2 \text{ kNm} \quad N_{j,t,Rd} = 120.3 \text{ kN} \quad N_{j,c,Rd} = 161.3 \text{ kN} \quad V_{wp,Rd} = 80.6 \text{ kN} \quad V_{cf,Rd} = 124.6 \text{ kN}$$

3.2.3.4. Nachweise

3.2.3.4.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Normalkraft: $N_{b,Ed} = |N_d \cdot \cos(\alpha) + V_d \cdot \sin(\alpha)| = 6.41 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 17.85 \text{ kN} \Rightarrow$ Biegetragfähigkeit

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu} = 5.02 \text{ kNm}, \quad z_{bu} = 80.6 \text{ mm}$

Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 37.95 \text{ kN}$

Schubkraft: $V_{c,w,Ed} = M_d/z - (V_{c1} - V_{c2})/2 = 24.46 \text{ kN}, \quad z = 163.5 \text{ mm}$

Schubkraft: $V_{b,w,Ed} = 31.93 \text{ kN}$

$$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.381 < 1 \quad \text{ok}$$

$$V_{c,w,Ed}/V_{wp,Rd} = 0.303 < 1 \quad \text{ok}$$

$$V_{b,w,Ed}/V_{cf,Rd} = 0.256 < 1 \quad \text{ok}$$

3.2.3.4.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig

Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Naht 1: Nahtdicke $a = 5.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 4.4 \text{ mm}$ (Schweisstechnik, s. DIN 18800) !!

Naht 2: Nahtdicke $a = 5.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 4.4 \text{ mm}$ (Schweisstechnik, s. DIN 18800) !!

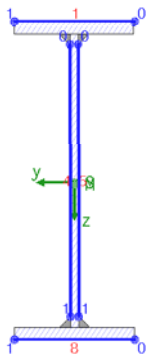
Naht 2: wirksame Nahtlänge $l_{\text{eff}} = 24.1 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \Rightarrow$ statisch nicht wirksam !!

Naht 2: wirksame Nahtlänge $l_{\text{eff}} = 24.1 \text{ mm} < 6 \cdot a = 30.0 \text{ mm} \Rightarrow$ statisch nicht wirksam !!

Naht 4: Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 3.1 \text{ mm}$ (Schweisstechnik, s. DIN 18800) !!

Naht 6: wirksame Nahtlänge $l_{\text{eff}} = 24.1 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \Rightarrow$ statisch nicht wirksam !!

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1: $a_w = 5.0 \text{ mm} \quad l_w = 64.0 \text{ mm}$

Naht 4: $a_w = 4.0 \text{ mm} \quad l_w = 145.7 \text{ mm}$

Naht 5: siehe Naht 4

Naht 8: $a_w = 4.0 \text{ mm} \quad l_w = 64.0 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$$N_{Ed} = 12.65 \text{ kN}, \quad M_{y,Ed} = -4.00 \text{ kNm}, \quad V_{z,Ed} = 37.95 \text{ kN}$$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$$\Sigma A_w = 17.42 \text{ cm}^2, \quad A_{w,z} = 11.66 \text{ cm}^2, \quad \Sigma l_w = 41.9 \text{ cm}$$

$$I_{w,y} = 620.73 \text{ cm}^4, \quad I_{w,z} = 20.23 \text{ cm}^4, \quad \Delta z_w = -4.3 \text{ mm}$$

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

75% Spannungsabtrag über Druckkontakt

Naht 1, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 59.95 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.236 < 1 \quad \text{ok}$

Naht 4, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 52.24 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 32.55 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.258 < 1 \quad \text{ok}$

Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -10.42 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 32.55 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.162 < 1 \quad \text{ok}$

Naht 8, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -12.40 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.049 < 1 \quad \text{ok}$

Ergebnis:

Naht 4, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 52.24 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 32.55 \text{ N/mm}^2$

Max: $\sigma_{1,w,Ed} = 92.93 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2,$
 $\sigma_{2,w,Ed} = 36.94 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.20 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.258 < 1 \quad \text{ok}$

Nachweis der Umlenkkräfte (richtungsbezogenes Verfahren)

Schweißnähte Druckflansch

Druckkraft $N_{b,c} = 4.8 \text{ kN}$

Schweißnahtwinkel $\varphi = 108.4^\circ$:

$\sigma_{1,w,Ed} = 13.74 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.038 < 1$ ok

$\sigma_{2,w,Ed} = 8.59 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.20 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.033 < 1$ ok

Schweißnahtwinkel $\varphi = 71.6^\circ$:

$\sigma_{1,w,Ed} = 16.12 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.045 < 1$ ok

$\sigma_{2,w,Ed} = 6.19 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.20 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.024 < 1$ ok

3.2.3.4.3. Nachweis der Stegsteifen

Drucksteife (unten)

$F_{c,Ed} = 18.78 \text{ kN}$

Kräfte je Rippe

$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 6.69 \text{ kN}$, $H = F \cdot e_F / e_H = 1.26 \text{ kN}$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: Q-Klasse 1 ≤ 3 ok

Querschnitt am Flansch

Drucktragfähigkeit $N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 36.28 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 7.03 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 7.03 \text{ kN} < F_{Rd} = 36.28 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.194 < 1$ ok

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = (A_v \cdot f_y) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 93.78 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 6.69 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 6.69 \text{ kN} < F_{Rd} = 93.78 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.071 < 1$ ok

Schweißnähte am Flansch

Bemessungsgrößen: $F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 173.32 \text{ kN/m}$, $F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 32.52 \text{ kN/m}$, $b_1 = 19.3 \text{ mm}$

75% Spannungsabtrag über Druckkontakt

$\sigma_{1,w,Ed} = 11.39 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.032 < 1$ ok

$\sigma_{2,w,Ed} = 10.83 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.20 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.042 < 1$ ok

Schweißnähte am Steg

Bemessungsgröße: $F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 38.72 \text{ kN/m}$, $l_1 = 86.4 \text{ mm}$

75% Spannungsabtrag über Druckkontakt

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 3.1 \text{ mm}$ (Schweisstechnik, s. DIN 18800) !!

$\sigma_{1,w,Ed} = 4.19 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.012 < 1$ ok

Zugsteife (oben)

$F_{t,Ed} = 31.43 \text{ kN}$

Kräfte je Rippe

$F = 0.5 \cdot F_{t,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 11.20 \text{ kN}$, $H = F \cdot e_F / e_H = 2.10 \text{ kN}$

Querschnitt am Flansch

Zugtragfähigkeit $N_{t,Rd} = 36.28 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 11.77 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 11.77 \text{ kN} < F_{Rd} = 36.28 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.324 < 1$ ok

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = (A_v \cdot f_y) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 93.78 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 11.20 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 11.20 \text{ kN} < F_{Rd} = 93.78 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.119 < 1$ ok

Schweißnähte am Flansch

Bemessungsgrößen: $F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 290.06 \text{ kN/m}$, $F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 54.42 \text{ kN/m}$, $b_1 = 19.3 \text{ mm}$

$\sigma_{1,w,Ed} = 76.25 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.212 < 1$ ok

$\sigma_{2,w,Ed} = 72.51 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.20 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.280 < 1$ ok

Schweißnähte am Steg

Bemessungsgröße: $F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 64.79 \text{ kN/m}$, $l_1 = 86.4 \text{ mm}$

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 3.1 \text{ mm}$ (Schweisstechnik, s. DIN 18800) !!

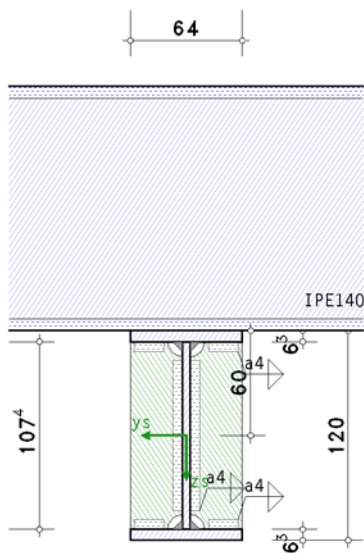
$\sigma_{1,w,Ed} = 28.06 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.078 < 1$ ok

3.2.3.4.4. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.434 < 1$ ok

3.3. Lasteinleitung in die Konsole (GZT)

Sonderprobleme nach Eurocode 3 EC 3-1-5 (10.19), NA: Deutschland



Voraussetzung: Flanschinduziertes Stegbeulen ist ausgeschlossen.
 Voraussetzung: Platten-/Schubbeulen ist ausgeschlossen.
 Voraussetzung: Quersteifen dienen als starre Lagerung des Blechfelds.
 Voraussetzung: Lokales Beulen der Steifen ist ausgeschlossen.

3.3.1. Ergebnistabelle

Lk	$F_{z,Ed}$ kN	N_{Ed} kN	V_{Ed} kN	U_r ---	U_σ ---	U ---
1	40.00	6.41	39.48	0.453	0.616	0.616*

$F_{z,Ed}$: vertikale Einzellast aus einem Lastträger; N_{Ed}, V_{Ed} : Bemessungsgrößen im Querschnitt; U_r : Ausnutzung aus Rippen
 U_σ : Ausnutzung aus Spannungen am Steganschnitt; U : Ausnutzung aus Lasteinleitung

*) maximale Ausnutzung

3.3.2. Endergebnis

Maximale Ausnutzung [Lk 1]: $\max U = 0.616 < 1$ ok

3.3.3. Lk 1 (maßgebend)

Querschnittswerte: $A = 12.79 \text{ cm}^2$, $z_s = 60.0 \text{ mm}$, $I_y = 306.31 \text{ cm}^4$, $y_s = 0.0 \text{ mm}$, $I_z = 27.60 \text{ cm}^4$

Lasteinzugsbreite durch den Träger $s_s' = 2 \cdot t_f + t_w + 2.828 \cdot a_w = 28.3 \text{ mm}$

Lasteinzugslänge durch den Lastträger $s_s = 2 \cdot t_f + t_w + 1.172 \cdot r = 26.7 \text{ mm}$

Zur Info: Lagerpressung $F_{z,Ed,GZT}/(s_s \cdot s_s') = 52.91 \text{ N/mm}^2$

wirksame Lasteinleitungslänge $l_{eff} = s_s + 2 \cdot t_f = 39.3 \text{ mm}$

Länge der starren Lasteinleitung:

bezogen auf die Flanschaußenkante $s_s = l_{eff} - 2 \cdot t_f = 26.7 \text{ mm}$ / auf den Steganschnitt $s_w = l_{eff} = 39.3 \text{ mm}$

3.3.3.1. Stegpressung (GZT)

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

Lastübertragung durch Quersteifen (Rippen):

Kräfte je Rippe

$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} = 20.00 \text{ kN}$, $H = F \cdot e_F / e_H = 3.56 \text{ kN}$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: Q-Klasse 1 ≤ 3 ok

Hinweis: $b_R > 25.8 \text{ mm} \Rightarrow$ Umschweißung nicht möglich, auf Korrosionsschutz achten !!

Querschnitt am Flansch

Drucktragfähigkeit $N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 50.09 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 20.93 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 20.93 \text{ kN} < F_{Rd} = 50.09 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.418 < 1$ ok

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = (A_v \cdot f_y) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 122.69 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 20.00 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 20.00 \text{ kN} < F_{Rd} = 122.69 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.163 < 1$ ok

Schweißnähte am Flansch

Bemessungsgrößen: $F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 469.16 \text{ kN/m}$, $F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 83.62 \text{ kN/m}$, $b_1 = 21.3 \text{ mm}$

$\sigma_{1,w,Ed} = 122.75 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.341 < 1$ ok

$\sigma_{2,w,Ed} = 117.29 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.20 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.453 < 1$ ok

Schweißnähte am Steg

Bemessungsgröße: $F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 110.58 \text{ kN/m}$, $l_1 = 90.4 \text{ mm}$

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{max} = 0.7 \cdot t_{min} = 3.1 \text{ mm}$ (Schweisstechnik, s. DIN 18800) !!

$\sigma_{1,w,Ed} = 47.88 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.133 < 1$ ok
 Gesamt: Ausnutzung der Rippen $U_R = 0.453 < 1$ ok

Spannungen am Steganschnitt:

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

Lk 1: $N_{Ed} = 6.4 \text{ kN}$, $V_{z,Ed} = 39.5 \text{ kN}$

Spannungen $\sigma_{x,Ed} = 5.0 \text{ N/mm}^2$, $\tau_{xz,Ed} = 83.6 \text{ N/mm}^2$

$|\sigma_{x,Ed}| = 5.0 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.021 < 1$ ok

$|\tau_{xz,Ed}| = 83.6 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.616 < 1$ ok

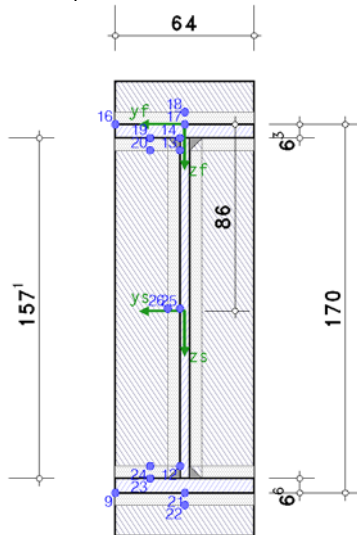
$\sigma_v = 144.8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.616 < 1$ ok

Ausnutzung am Steganschnitt $\max U_\sigma = 0.616 < 1$ ok

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.616 < 1$ ok

3.4. Ermüdung der Verbindung Konsole-Stütze (GZE)

Sonderprobleme nach Eurocode 3 EC 3-1-9 (12.10), NA: Deutschland



Kerbfälle / zul. Kerbspannungen bei $N = 2 \cdot 10^6$ Schwingspielen:

Pkt.	yf mm	zf mm	$\Delta\sigma_{x,Rd}$ N/mm ²	$\Delta\tau_{Rd}$ N/mm ²	$\Delta\sigma_{z,Rd}$ N/mm ²	Kerbpunkt	EC 3-1-9, Tab.
9	32.0	170.0	160.0	0.0	0.0	am Untergurt	8.1(1)
12	2.2	157.7	100.0	100.0	0.0	am Trägersteg	8.2(7) 8.1(6)
13	2.2	12.0	100.0	100.0	40.0	am Trägersteg	8.2(7) 8.1(6) 8.10(4)*
° 14	2.2	6.3	0.0	80.0	0.0	am Trägersteg	8.5(8)
16	32.0	0.0	160.0	0.0	0.0	am Obergurt	8.1(1)
° 17	0.0	0.0	36.0	0.0	0.0	am Blech (Obergurt)	8.5(3)
18	0.0	-5.7	80.0	0.0	0.0	am Blech (Obergurt)	8.5(1)
° 19	16.0	6.3	36.0	0.0	0.0	am Blech (Obergurt)	8.5(3)
20	16.0	12.0	80.0	0.0	0.0	am Blech (Obergurt)	8.5(1)
° 21	0.0	170.0	36.0	0.0	0.0	am Blech (Untergurt)	8.5(3)
22	0.0	175.7	80.0	0.0	0.0	am Blech (Untergurt)	8.5(1)
° 23	16.0	163.4	36.0	0.0	0.0	am Blech (Untergurt)	8.5(3)
24	16.0	157.7	80.0	0.0	0.0	am Blech (Untergurt)	8.5(1)
° 25	2.2	85.0	36.0	80.0	0.0	am Blech (Steg)	8.5(3) 8.5(8)
26	7.9	85.0	0.0	100.0	0.0	am Blech (Steg)	8.2(5)

°: Nachweis der Schweißnaht, *: Kerbspannung $\Delta\sigma_{z,Rd}$ um eine Kategorie erhöht

Belastung

Lk 1: $M_{y,Ed} = -0.50 \text{ kNm}$, $V_{z,Ed} = 5.00 \text{ kN}$

Lk 2: $M_{y,Ed} = -1.49 \text{ kNm}$, $V_{z,Ed} = 15.00 \text{ kN}$

3.4.1. Ermüdungsnachweis

Querschnittswerte: $A = 15.19 \text{ cm}^2$, $z_s = 86.0 \text{ mm}$, $I_y = 695.85 \text{ cm}^4$, $y_s = 0.0 \text{ mm}$, $I_z = 28.38 \text{ cm}^4$

Spannungsschwingbreiten:

Pkt. 21: $y_f = 0.0 \text{ mm}$, $z_f = 170.0 \text{ mm}$ $\Delta\sigma_{x,Ed} = 13.2 \text{ N/mm}^2$

Spannungsschwingbreiten infolge Ermüdung:

Pkt. 21: $y_f = 0.0 \text{ mm}$, $z_f = 170.0 \text{ mm}$ $\Delta\sigma_{x,f} = 13.2 \text{ N/mm}^2$

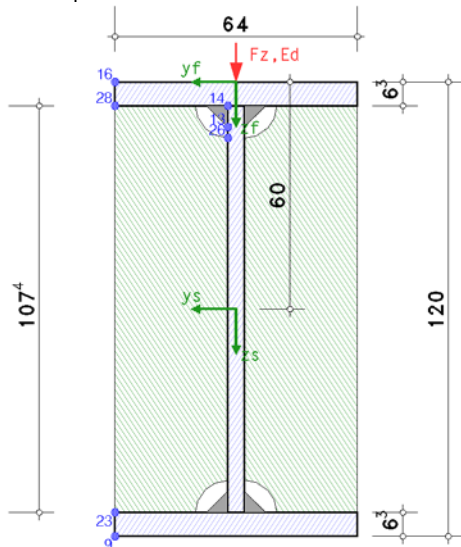
Nachweis der Kerbspannungen:

Pkt. 21: $y = 0.0 \text{ mm}$, $z = 170.0 \text{ mm}$ $\Delta\sigma_{x,f} = 13.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 31.3 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.421$ ok

Ermüdungsnachweis [Pkt. 21]: $\max U = 0.421 < 1$ **ok**

3.5. Ermüdung des Konsolprofils (GZE)

Sonderprobleme nach Eurocode 3 EC 3-1-9 (12.10), NA: Deutschland



Kerbfälle / zul. Kerbspannungen bei $N = 2 \cdot 10^6$ Schwingspielen:

Pkt.	y_f mm	z_f mm	$\Delta\sigma_{x,Rd}$ N/mm ²	$\Delta\tau_{Rd}$ N/mm ²	$\Delta\sigma_{z,Rd}$ N/mm ²	Kerbpunkt	EC 3-1-9, Tab.
9	32.0	120.0	160.0	0.0	0.0	am Untergurt	8.1(1)
13	2.2	12.0	100.0	100.0	40.0	am Trägersteg	8.2(7) 8.1(6) 8.10(4)*
14	2.2	6.3	0.0	80.0	0.0	am Trägersteg	8.5(8)
16	32.0	0.0	160.0	0.0	0.0	am Obergurt	8.1(1)
23	32.0	113.7	80.0	0.0	0.0	infolge Quersteife	8.4(7)
26	2.2	14.8	0.0	100.0	0.0	infolge Quersteife	8.1(6)
28	32.0	6.3	80.0	0.0	0.0	infolge Quersteife	8.4(7)

°: Nachweis der Schweißnaht, *: Kerbspannung $\Delta\sigma_{z,Rd}$ um eine Kategorie erhöht

Belastung

Lk 1: $M_{y,Ed} = 0.01$ kNm, $V_{z,Ed} = 5.00$ kN

Lk 2: $M_{y,Ed} = 0.03$ kNm, $V_{z,Ed} = 15.00$ kN

Querbelastrung auf dem Obergurt: vertikale Einzellast $F_{z,Ed} = 15.0$ kN

3.5.1. Ermüdungsnachweis

Querschnittswerte: $A = 12.79$ cm², $z_s = 60.0$ mm, $I_y = 306.31$ cm⁴, $y_s = 0.0$ mm, $I_z = 27.60$ cm⁴

wirksame Lasteinleitungslänge $l_{eff} = s_s + 2 \cdot t_f = 39.3$ mm

... am Trägersteg $\sigma_{oz} = -86.7$ N/mm², $\tau_o = 17.3$ N/mm² / ... an der Schweißnaht $\sigma_{oz} = -47.7$ N/mm², $\tau_o = 9.5$ N/mm²

Spannungsschwingbreiten:

Pkt. 13: $y_f = 2.2$ mm, $z_f = 12.0$ mm $\Delta\sigma_{x,Ed} = 0.3$ N/mm² $\Delta\tau_{Ed} = 52.7$ N/mm² $\Delta\sigma_{z,Ed} = 86.7$ N/mm²

Spannungsschwingbreiten infolge Ermüdung:

Pkt. 13: $y_f = 2.2$ mm, $z_f = 12.0$ mm $\Delta\sigma_{x,f} = 0.3$ N/mm² $\Delta\tau_f = 52.7$ N/mm² $\Delta\sigma_{z,f} = 86.7$ N/mm²

Nachweis der Kerbspannungen:

Pkt. 13: $y = 2.2$ mm, $z = 12.0$ mm

$\Delta\sigma_{x,f} = 0.3$ N/mm² $<$ $\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 87.0$ N/mm² $\Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.004$ **ok**

$\Delta\tau_f = 52.7$ N/mm² $<$ $\Delta\tau_{Rd,f} = 87.0$ N/mm² $\Rightarrow U_{\Delta\tau} = 0.606$ **ok**

$\Delta\sigma_{z,f} = 86.7$ N/mm² $>$ $\Delta\sigma_{z,Rd,f} = 34.8$ N/mm² $\Rightarrow U_{\Delta\sigma z} = 2.494$ **nicht ok !!**

Interaktion $U_i = U_{\Delta\sigma x}^3 + U_{\Delta\sigma z}^3 + U_{\Delta\tau}^5 = 15.592 > 1$ **nicht ok !!**

Ermüdungsnachweis [Pkt. 13]: $\max U = 2.494 > 1$ **nicht ok !!**

4. Endergebnis

Maximale Ausnutzung:

$\max U = 2.494 > 1$ **nicht ok !!**

Ermüdung der Verbindung / des Profils

Tragfähigkeit nicht gewährleistet !!

5. 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

EN 1993-1-5, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile;

Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019, Ausgabe Oktober 2019

EN 1993-1-5/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-5, Ausgabe Dezember 2010

EN 1993-1-9, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung;

Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2006 + AC:2009, Ausgabe Dezember 2010

EN 1993-1-9/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-9, Ausgabe Dezember 2010