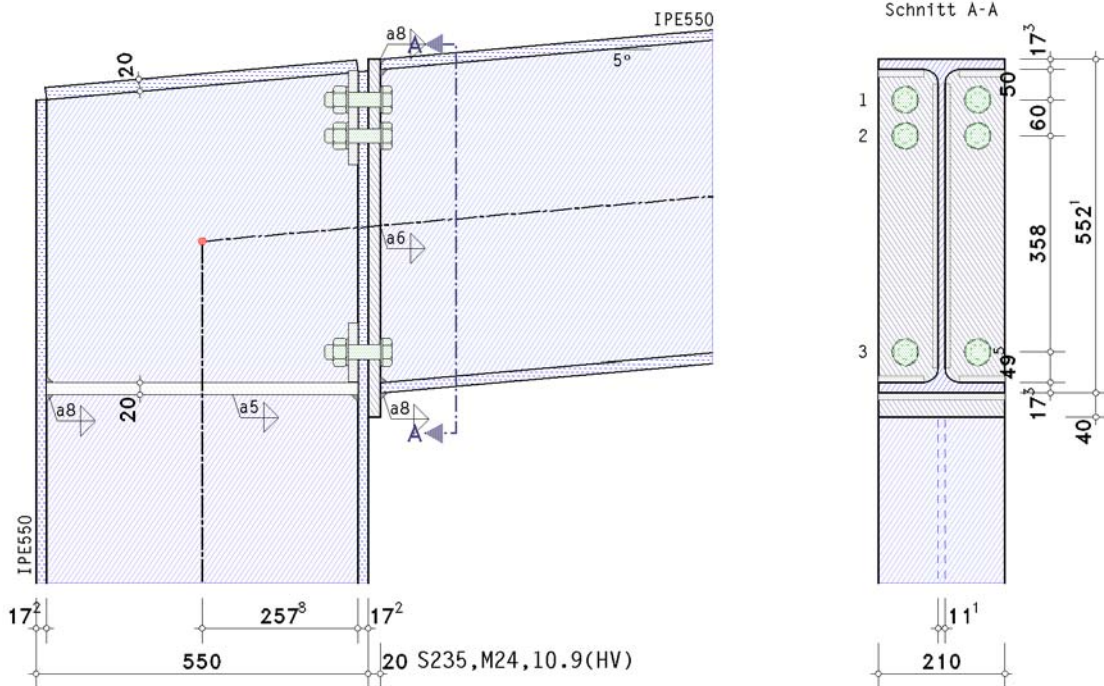
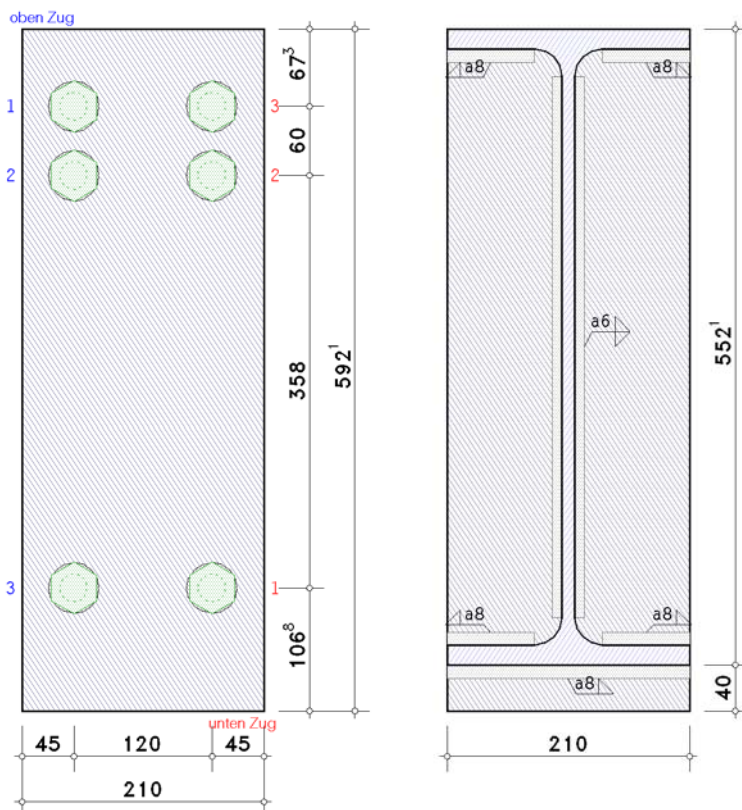


1. Eingabeprotokoll



Details (Schnitt A - A)



Stahlsorte

Stahlgüte S235

Parameter der Stütze

Profil IPE550

Verstärkung des Profils durch Quersteifen (Stegsteifen in Höhe von Trägerzug- und -druckflansch, $d_{st} = 523.6$ mm):

Dicke $t_{st} = 20.0$ mm, Breite $b_{st} = 95.0$ mm, Länge $l_{st} = 515.6$ mm

Aussparung an den Steifen $c_{st} = 36.0$ mm

Schweißnähte $a_{st,f} = 8.0$ mm, $a_{st,w} = 5.0$ mm

Kopfplatte $t_k = 20.0$ mm (statisch wirksam)

Schrauben

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M24

große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt (zur Info: Regelvorspannkraft $F_{p,c}^* = 0.7 \cdot f_{yb} \cdot A_s = 222.1 \text{ kN}$)

Schaft in der Scherfuge

Futterblech (Flanschverstärkung): Dicke $t_{bp} = 15.0 \text{ mm}$, Breite $b_{bp} = 96.0 \text{ mm}$, Länge $l_{bp} = 96.0 \text{ mm}$

Parameter des Trägers

Profil IPE550

Neigungswinkel des Profils gegen die Horizontale $\alpha_b = 5.00^\circ \Rightarrow$ Profilhöhe im Anschluss $h_b = h / \cos(\alpha_b) = 552.1 \text{ mm}$

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss

Dicke $t_p = 20.0 \text{ mm}$, Breite $b_p = 210.0 \text{ mm}$, Länge $l_p = 592.1 \text{ mm}$

Überstände $h_{p,o} = 0.0 \text{ mm}$, $h_{p,u} = 40.0 \text{ mm}$

Schrauben im Anschluss:

3 Schraubenreihen mit je 2 Schrauben

davon 2 Schraubenreihen oben unter Zugbelastung (Reihen 1-2)

und 1 Schraubenreihe zur Querkraftübertragung oben (Reihe 3)

davon 1 Schraubenreihe unten unter Zugbelastung (Reihe 3)

und 2 Schraubenreihen zur Querkraftübertragung unten (Reihen 2-3)

Schraubengruppen automatisch bilden, Berücks. aller Gruppen bzgl. Reihe 1

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 45.0 \text{ mm}$

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 67.3 \text{ mm}$

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 106.8 \text{ mm}$

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum freien Rand der Stütze (Endreihe) $e_1' = 67.3 \text{ mm}$

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 60.0 \text{ mm}$, $p_{2-3} = 358.0 \text{ mm}$

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 8.0 \text{ mm}$, Öffnungswinkel $\varphi = 85^\circ$

Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 6.0 \text{ mm}$

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 8.0 \text{ mm}$, Öffnungswinkel $\varphi = 95^\circ$

Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen

Lk 1: Ek 4 (rechte Rahmenecke)

$N_{j,b,Ed} = -58.30 \text{ kN}$ $M_{j,b,Ed} = -292.00 \text{ kNm}$ $V_{j,b,Ed} = 103.30 \text{ kN}$

$N_{j,c1,Ed} = -107.99 \text{ kN}$ $M_{j,c1,Ed} = -292.00 \text{ kNm}$ $V_{j,c1,Ed} = -49.07 \text{ kN}$ (berechnet)

Lk 2: Ek 5 (linke Rahmenecke)

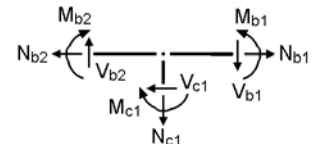
$N_{j,b,Ed} = -3.00 \text{ kN}$ $M_{j,b,Ed} = 52.20 \text{ kNm}$ $V_{j,b,Ed} = -3.80 \text{ kN}$

$N_{j,c1,Ed} = 3.52 \text{ kN}$ $M_{j,c1,Ed} = 52.20 \text{ kNm}$ $V_{j,c1,Ed} = -3.32 \text{ kN}$ (berechnet)

Lk 3: Ek 2 (rechte Rahmenecke)

$N_{j,b,Ed} = -61.00 \text{ kN}$ $M_{j,b,Ed} = -281.70 \text{ kNm}$ $V_{j,b,Ed} = 117.00 \text{ kN}$

$N_{j,c1,Ed} = -121.87 \text{ kN}$ $M_{j,c1,Ed} = -281.70 \text{ kNm}$ $V_{j,c1,Ed} = -50.57 \text{ kN}$ (berechnet)



Materialsicherheitsbeiwerte

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

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

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

Vorspannung hochfester Schrauben $\gamma_{M7} = 1.10$

Hinweise

Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkraft.

Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

Die Querschnittsprofile werden nicht nachgewiesen.

Die Schweißnähte werden bei Ermittlung der T-Stummel-Tragfähigkeit nicht berücksichtigt.

Die lokale Schweißnahttragfähigkeit wird nicht berücksichtigt.

Stegsteifen werden nicht nachgewiesen.

Platten- und Schubbeulen wird nicht untersucht.

Die Berechnung der T-Stummel-Tragfähigkeit erfolgt mit dem Standard-Verfahren.

Datencheck

ok

Schraubenabstände am Stirnblech

horizontal: $e_2 = 45.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,

horizontal: $p_2 = 120.0 \text{ mm} > 2.4 \cdot d_0 = 62.4 \text{ mm}$,

oben-unten: $e_1 = 67.3 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,

oben-unten: $e_1 = 67.3 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,

oben-unten: $p_1 = 60.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 57.2 \text{ mm}$,

oben-unten: $p_1 = 358.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 57.2 \text{ mm}$,

oben-unten: $e_1 = 106.8 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,

Schraubenabstand vom Stützenrand

horizontal: $e_2 = 45.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,

$e_2 = 45.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 108.8 \text{ mm}$

$p_2 = 120.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$

$e_1 = 67.3 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 108.8 \text{ mm}$

$e_1 = 67.3 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 108.8 \text{ mm}$

$p_1 = 60.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$

$p_1 = 358.0 \text{ mm} > \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm} \quad !!$

$e_1 = 106.8 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 108.8 \text{ mm}$

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

2. Ergebnistabelle

Ausnutzung/Rotation

Lk	U_m	U_v	U_{wp}	U_{bw}	U_{ep}	U_{sb}	U	$S_{j,ini}$ MNm/rad	S_j MNm/rad	φ_j °
1	1.139	0.249	0.696	0.147	0.081	0.716	1.139*	117.3	27.6	0.520
2	0.282	0.004	0.131	0.005	0.003	0.136	0.282	85.4	85.4	0.034
3	1.073	0.281	0.656	0.166	0.092	0.680	1.073!	117.3	32.4	0.417

U_m : Ausnutzung aus Biegung; U_v : Ausnutzung aus Abscheren/Lochleibung; U_{wp} : Ausnutzung aus Schub im Stützensteg
 U_{bw} : Ausnutzung aus Schub im Trägersteg; U_{ep} : Ausnutzung aus Schub im Stirnblech; U_{sb} : Ausnutzung aus Schweißnaht
 U : Ausnutzung der Verbindung; $S_{j,ini}$: Anfangsrotationssteifigkeit; S_j : Rotationssteifigkeit
 φ_j : Verdrehung
 *) maximale Ausnutzung

3. Endergebnis

Maximale Ausnutzung [Lk 1]: $\max U = 1.139 > 1$ **nicht ok !!**
 Minimale Rotationssteifigkeit: $\min S_j = 27.6 \text{ MNm/rad}$, $S_{j,ini} = 117.3 \text{ MNm/rad}$, $\varphi_j = 0.520^\circ$

Tragfähigkeit nicht gewährleistet !!

4. Vorschriften

EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung;

Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010, Ausgabe Dezember 2010

EN 1990/NA, Nationaler Anhang zur EN 1990, Ausgabe Dezember 2010

EN 1993-1-1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -

Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau;

Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2022, Ausgabe April 2025

EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-1, Ausgabe April 2026

EN 1993-1-8, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -

Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2024, Ausgabe April 2025

EN 1993-1-8/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-8, Ausgabe April 2026

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

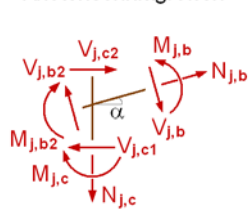
Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019, Ausgabe Oktober 2019

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

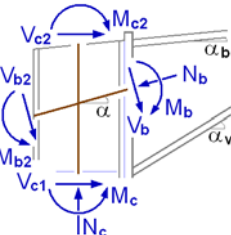
5. Lk 1 (maßgebend)

5.1. Bemessungsgrößen

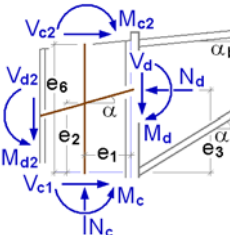
Knotenschnittgrößen



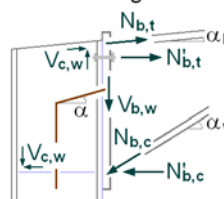
Anschnitt Anschluss



⊥ zur Anschlussebene



Teilschnittgrößen



Neigungswinkel: $\alpha_b = \alpha_v = \alpha = 5.00^\circ$

Abstände: $e_1 = 275.0 \text{ mm}$, $e_3 = 267.4 \text{ mm}$, $e_2 = 243.4 \text{ mm}$, $e_6 = 523.6 \text{ mm}$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger

$N_d = 49.07 \text{ kN}$, $M_d = 263.48 \text{ kNm}$, $V_d = 107.99 \text{ kN}$

Anschnitt Stütze (unten, berechnet)

$N_c = 107.99 \text{ kN}$, $M_c = 280.06 \text{ kNm}$, $V_c = 49.07 \text{ kN}$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d + N_d \cdot t_p \cdot \tan(\alpha) - V_d \cdot t_p = 261.41 \text{ kNm}$

$N_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b) / \cos(\alpha_b) = 466.00 \text{ kN}$, $z_b = 534.8 \text{ mm}$, $z_{bu} = 267.4 \text{ mm}$

$N_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b) / \cos(\alpha_b) = 515.27 \text{ kN}$, $z_b = 534.8 \text{ mm}$, $z_{bo} = 267.4 \text{ mm}$

$V_{b,t} = -N_{b,t} \cdot \sin(\alpha_b) = -40.61 \text{ kN}$, $V_{b,c} = N_{b,c} \cdot \sin(\alpha_b) = 44.91 \text{ kN}$, $V_{b,w} = V_d - V_{b,t} - V_{b,c} = 103.69 \text{ kN}$

5.2. Anschlusstragfähigkeit

Übertragungsparameter: $\beta_j = 1.00$

5.2.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 476.2 \text{ mm}$, $h_2 = 416.2 \text{ mm}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 376.9 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 97.0 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 473.9 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 376.9 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 97.0 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{tr,Rd} = 473.9 \text{ kN}$$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 3, 4, 5

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$$\Sigma F_{c,Rd}^* = 1613.6 \text{ kN}$$

Biegetragfähigkeit

$$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 219.9 \text{ kNm}$$

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 473.9 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 1613.6 \text{ kN}$$

5.2.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Abscheren/Lochleibung)

Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{vr,Rd} = 434.3 \text{ kN}$$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 434.3 \text{ kN}$$

5.2.3. Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

Stirnblech: $V_{ep,Rd} = 1274.20 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit des Trägerstegs

Trägersteg: $V_{bw,Rd} = 707.18 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

$V_{wp,Rd} = 806.80 \text{ kN}$

5.2.4. Gesamt

$M_{j,Rd} = 219.9 \text{ kNm}$ $N_{j,t,Rd} = 473.9 \text{ kN}$ $N_{j,c,Rd} = 1613.6 \text{ kN}$ $V_{j,Rd} = 434.3 \text{ kN}$ $V_{wp,Rd} = 806.8 \text{ kN}$ $V_{ep,Rd} = 1274.2 \text{ kN}$
 $V_{bw,Rd} = 707.2 \text{ kN}$

5.3. Nachweise

5.3.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Normalkraft: $N_{b,Ed} = |N_d \cdot \cos(\alpha) + V_d \cdot \sin(\alpha)| = 58.30 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 158.52 \text{ kN} \Rightarrow$ Biegetragfähigkeit

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu} = 250.45 \text{ kNm}$, $z_{bu} = 265.7 \text{ mm}$

Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 107.99 \text{ kN}$

Schubkraft: $V_{c,w,Ed} = (M_{d1} - M_{d2})/z - V_d/2 = 561.51 \text{ kN}$, $z = 449.6 \text{ mm}$

Schubkraft: $V_{b,w,Ed} = 103.69 \text{ kN}$

$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 1.139 > 1$ **nicht ok !!**

$V_{Ed}/V_{j,Rd} = 0.249 < 1$ **ok**

$V_{c,w,Ed}/V_{wp,Rd} = 0.696 < 1$ **ok**

$V_{b,w,Ed}/V_{bw,Rd} = 0.147 < 1$ **ok**

$V_{b,w,Ed}/V_{ep,Rd} = 0.081 < 1$ **ok**

5.3.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

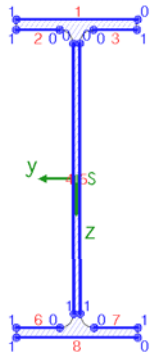
Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

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

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:	$a_w = 8.0 \text{ mm}$	$l_w = 210.0 \text{ mm}$
Naht 2:	$a_w = 8.0 \text{ mm}$	$l_w = 75.4 \text{ mm}$
Naht 3:	siehe Naht 2	
Naht 4:	$a_w = 6.0 \text{ mm}$	$l_w = 469.6 \text{ mm}$
Naht 5:	siehe Naht 4	
Naht 6:	$a_w = 8.0 \text{ mm}$	$l_w = 75.4 \text{ mm}$
Naht 7:	siehe Naht 6	
Naht 8:	$a_w = 8.0 \text{ mm}$	$l_w = 210.0 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$N_{Ed} = -49.07 \text{ kN}$, $M_{y,Ed} = -263.48 \text{ kNm}$, $V_{z,Ed} = 107.99 \text{ kN}$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$\Sigma A_w = 114.09 \text{ cm}^2$, $A_{w,z} = 56.35 \text{ cm}^2$, $\Sigma l_w = 166.1 \text{ cm}$

$I_{w,y} = 52127.42 \text{ cm}^4$, $I_{w,z} = 2459.43 \text{ cm}^4$, $\Delta z_w = 0.0 \text{ mm}$

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

Naht 1,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 135.23 \text{ N/mm}^2$		$\Rightarrow U_w = 0.531 < 1$	ok
Naht 2,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 126.50 \text{ N/mm}^2$		$\Rightarrow U_w = 0.497 < 1$	ok
Naht 4,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 114.37 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 19.16 \text{ N/mm}^2$	$\Rightarrow U_w = 0.459 < 1$	ok
	Pkt. 1:	$\sigma_{w,x} = -122.98 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 19.16 \text{ N/mm}^2$	$\Rightarrow U_w = 0.492 < 1$	ok
Naht 6,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -135.11 \text{ N/mm}^2$		$\Rightarrow U_w = 0.531 < 1$	ok
Naht 8,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -143.83 \text{ N/mm}^2$		$\Rightarrow U_w = 0.565 < 1$	ok

Ergebnis:

Naht 8, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -143.83 \text{ N/mm}^2$

Max: $\sigma_{1,w,Ed} = 203.41 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2$,

$\sigma_{2,w,Ed} = 101.71 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.20 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.565 < 1$ ok

Nachweis der Umlenkkräfte (richtungsbezogenes Verfahren)

Schweißnähte Zugflansch

Zugkraft $N_{b,t} = 466.0 \text{ kN}$

Schweißnahtwinkel $\varphi = 85.0^\circ$:

$\sigma_{1,w,Ed} = 233.2 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.648 < 1$ ok

$\sigma_{2,w,Ed} = 109.0 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.2 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.421 < 1$ ok

Schweißnahtwinkel $\varphi = 95.0^\circ$:

$\sigma_{1,w,Ed} = 223.2 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.620 < 1$ ok

$\sigma_{2,w,Ed} = 119.0 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.2 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.459 < 1$ ok

Schweißnähte Druckflansch

Druckkraft $N_{b,c} = 515.3 \text{ kN}$

Schweißnahtwinkel $\varphi = 95.0^\circ$:

$\sigma_{1,w,Ed} = 246.8 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.686 < 1$ ok

$\sigma_{2,w,Ed} = 131.6 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.2 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.508 < 1$ ok

Schweißnahtwinkel $\varphi = 85.0^\circ$:

$\sigma_{1,w,Ed} = 257.8 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.716 < 1$ ok

$\sigma_{2,w,Ed} = 120.6 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.2 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.465 < 1$ ok

5.3.3. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 1.139 > 1$ nicht ok !!

Versagen beim Nachweis für Biegung: $U = 1.139$

5.4. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 2 Zug-Schraubenreihen:

1: $k_3 = 3.60 \text{ mm}$, $k_4 = 22.64 \text{ mm}$, $k_5 = 18.20 \text{ mm} \Rightarrow k_{\text{eff},1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 2.653 \text{ mm}$

2: $k_3 = 3.28 \text{ mm}$, $k_4 = 20.62 \text{ mm}$, $k_5 = 16.42 \text{ mm} \Rightarrow k_{\text{eff},2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 2.413 \text{ mm}$

äquivalenter innerer Hebelarm $z_{\text{eq}} = \Sigma(k_{\text{eff},r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{\text{eff},r} \cdot h_r) = 449.60 \text{ mm}$

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient $k_{\text{eq}} = \Sigma(k_{\text{eff},r} \cdot h_r) / z_{\text{eq}} = 5.043 \text{ mm}$

$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 6.11 \text{ mm}$

$k_2 = \infty$ (ausgesteift)

Rotationssteifigkeit

Anfangsrotationssteifigkeit: $S_{j,\text{ini}} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 117308.2 \text{ kNm/rad}$, $z = z_{\text{eq}} = 449.6 \text{ mm}$, $\Sigma(1/k_i) = 0.362 \text{ mm}^{-1}$

$I_{N_b,Ed} = 58.30 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pI,Rd} = 158.52 \text{ kN}$ ok

$I_{M_j,Ed} = 250.45 \text{ kNm} > 2/3 \cdot M_{j,Rd} = 146.57 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^\Psi = 4.248$, $\Psi = 2.7$

Rotationssteifigkeit: $S_{j,Rd} = S_{j,\text{ini}} / \mu = 27612.7 \text{ kNm/rad}$

Verdrehung: $\varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.520^\circ$