

POS. 1: 2 SCHRAUBEN (TRÄGER-STÜTZE)

Typisierter IM-Anschluss

Momenten tragfähiger IM-Anschluss nach EC 3-1-8 (12.10), NA: Deutschland

Die Abmessungen des Trägers, der Schrauben, der Stirnplatte und der Schweißnähte, das Material sowie die Anordnung der Schrauben sind der folgenden Literatur entnommen:

'Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach DIN EN 1993-1-8, Ergänzungsband 2018, Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Ausgabe 2018'

Hierzu sind die laufende Nr. sowie die zugehörigen Parameter protokolliert.

Die Stütze ist unabhängig von der Literatur gewählt, die Stegsteifen sind durchlaufend ausgeführt.

Die MN-Interaktion erfolgt nach Cerfontaine (in Jaspart/Weynand: Design of Joints in Steel Structures).

Träger-Stützenverbindung, Stahlgüte S235, Festigkeitsklasse der Schrauben 10.9

10760: Trägerprofil HEA240, Schraubengröße M24, Anschluss mit 2 Schrauben je Reihe

Stirnplatte: $t_p = 30$ mm, $b_p = 240$ mm, $h_p = 440$ mm, $e_1 = 55$ mm, $p_{1,1} = 110$ mm, $p_{1,2} = 110$ mm
 $p_{1,3} = 110$ mm, $u_1 = 105$ mm, $w = 130$ mm

Kehlnähte: $a_r = 6$ mm, $a_w = 4$ mm

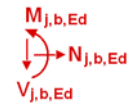
Stütze: Profil HE280A

horizontale Stegsteifen

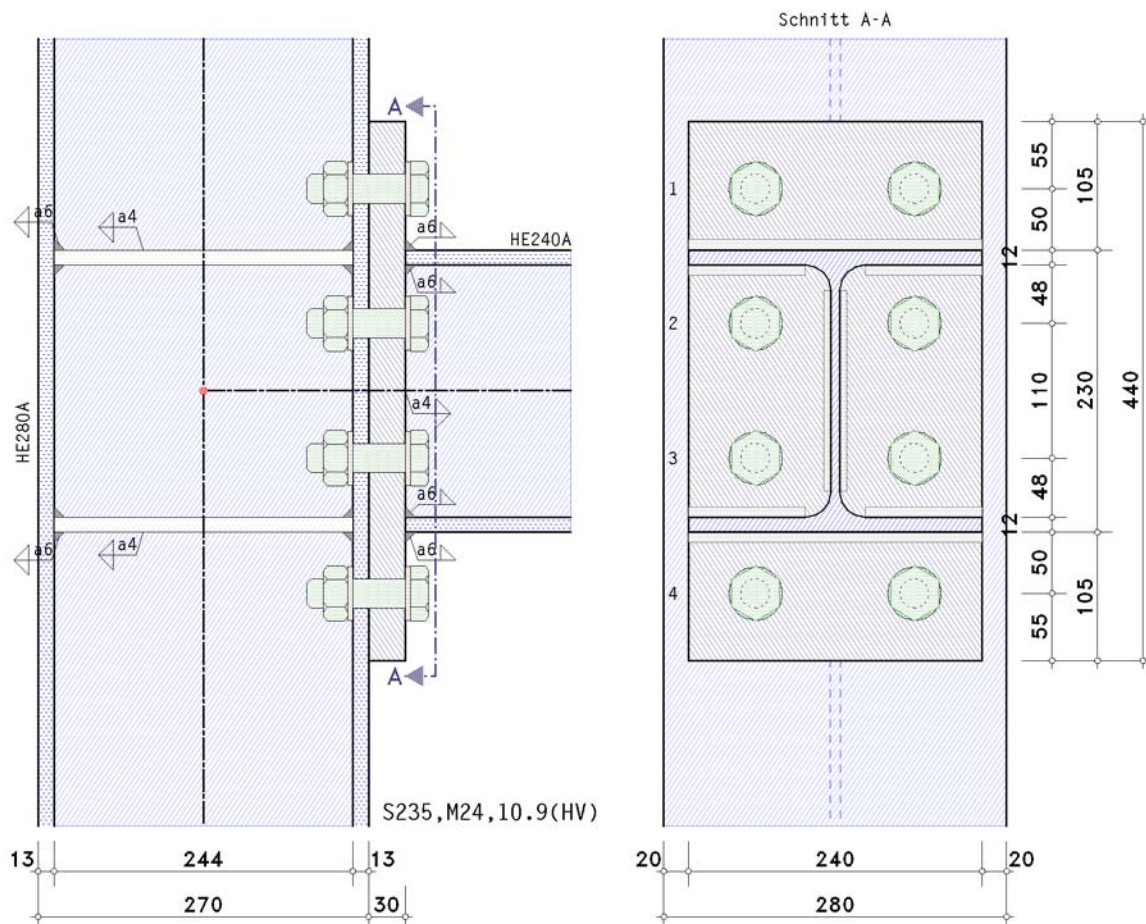
Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen:

$M_{j,b1,Ed}, V_{j,b1,Ed}$: Schnittgrößen nach der Vorzeichenregel der Statik

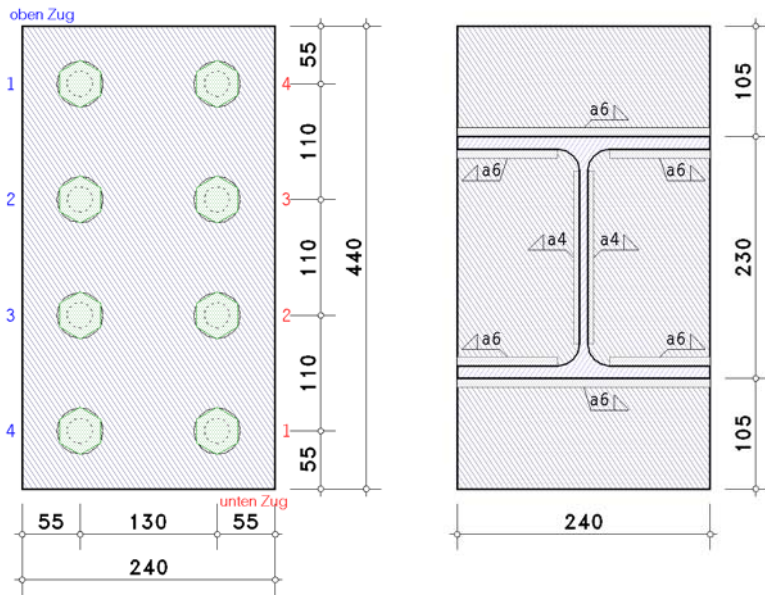
Lk	$M_{j,b1,Ed}$ kNm	$V_{j,b1,Ed}$ kN	Lk	$M_{j,b1,Ed}$ kNm	$V_{j,b1,Ed}$ kN	Lk	$M_{j,b1,Ed}$ kNm	$V_{j,b1,Ed}$ kN
--			--			--		
1	-76.27	43.37	8	-159.20	121.63	15	-63.37	50.48
2	-122.52	84.96	9	-173.45	125.19	16	-10.59	6.38
3	-39.91	48.47	10	14.32	0.73	17	-101.25	80.43
4	-44.37	36.57	11	10.68	1.85	18	-133.92	91.46
5	-89.61	73.99	12	-69.74	40.86	19	-71.81	55.26
6	-14.16	7.17	13	-42.10	45.95			
7	-102.02	84.67	14	-48.47	36.33			



Biegesteifer Trägeranschluss



Details



Komponentenmethode

Hinweise

Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkkräfte. 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 vereinfachte Berechnung der Querkrafttragfähigkeit berücksichtigt alle Schraubenreihen.

Ausnutzungen

Lk	$U_{\sigma,b}$	U_{MNV}	U_{wp}	U_{p1}	U_{ep}	U_{sb}	U_{ss}	U
1	0.418	0.679	0.750	0.254	0.159	0.497	0.611	0.750
2	0.662	1.074	1.184	0.497	0.312	0.788	0.969	1.184!
3	0.220	0.326	0.359	0.284	0.178	0.249	0.296	0.359
4	0.237	0.380	0.421	0.214	0.134	0.278	0.341	0.421
5	0.480	0.774	0.851	0.433	0.271	0.569	0.701	0.851
6	0.078	0.128	0.140	0.042	0.026	0.094	0.115	0.140
7	0.545	0.877	0.968	0.496	0.310	0.643	0.792	0.968
8	0.857	1.382	1.525	0.712	0.446	1.013	1.247	1.525!
9	0.936	1.515	1.670	0.733	0.459	1.111	1.367	1.670*
10	0.086	0.136	0.152	0.004	0.003	0.102	0.125	0.152
11	0.065	0.103	0.115	0.011	0.007	0.077	0.094	0.115
12	0.381	0.619	0.684	0.239	0.150	0.453	0.557	0.684
13	0.225	0.350	0.385	0.269	0.169	0.258	0.318	0.385
14	0.260	0.420	0.465	0.213	0.133	0.307	0.377	0.465
15	0.340	0.549	0.604	0.296	0.185	0.404	0.498	0.604
16	0.058	0.094	0.104	0.037	0.023	0.069	0.085	0.104
17	0.542	0.875	0.966	0.471	0.295	0.642	0.790	0.966
18	0.725	1.176	1.296	0.536	0.335	0.862	1.061	1.296!
19	0.386	0.625	0.687	0.324	0.203	0.459	0.566	0.687

$U_{\sigma,b}$: Spannungsausnutzung am Träger; U_{MNV} : Ausnutzung aus MNV-Interaktion; U_{wp} : Ausnutzung aus Schub im Stützenstegfeld
 U_{p1} : Ausnutzung aus Schub (plastisch); U_{p1} : Ausnutzung aus Schub im Stirnblech; U_{sb} : Ausnutzung aus Schweißnaht
 U_{ss} : Ausnutzung aus Steifen/Rippen; U: Gesamtausnutzung
 *) maximale Ausnutzung

Endergebnis

Maximale Ausnutzung [Lk 9]: max U = 1.670 > 1 **Fehler !!**
 Minimale Rotationssteifigkeit [Lk 9]: min $S_j = 3.0$ MNm/rad, $S_{j,ini} = 27.9$ MNm/rad
 Maximale Verdrehung [Lk 9]: max $\varphi_{j,Ed} = 2.858^\circ$

Tragfähigkeit nicht gewährleistet !!

Bemessungsgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt

$$N_{b,Ed} = -N_{j,b,Ed} = 45.53 \text{ kN}$$

$$M_{b,Ed} = -M_{j,b,Ed} - V_{j,b,Ed} \cdot e_1 = 156.55 \text{ kNm}, \quad e_1 = 135.0 \text{ mm}$$

$$V_{b,Ed} = V_{j,b,Ed} = 125.19 \text{ kN}$$

Schnittgrößen senkrecht zur Anschlussebene

$$N_d = N_{b,Ed} = 45.53 \text{ kN}$$

$$M_d = M_{b,Ed} = 156.55 \text{ kNm}$$

$$V_d = V_{b,Ed} = 125.19 \text{ kN}$$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_d \cdot t_{ep} = 152.79 \text{ kNm}$

$$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b = 678.11 \text{ kN}, \quad z_b = 218.0 \text{ mm}, \quad z_{bu} = 109.0 \text{ mm}$$

$$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b = 723.64 \text{ kN}, \quad z_b = 218.0 \text{ mm}, \quad z_{bo} = 109.0 \text{ mm}$$

Querschnittstragfähigkeit

plastischer Querschnittsnachweis für $N = -45.53 \text{ kN}$, $M_y = -152.79 \text{ kNm}$, $V_z = 125.19 \text{ kN}$

zul. Normal-/Schubspannung: zul $\sigma_{Rd} = 23.50 \text{ kN/cm}^2$, zul $\tau_{Rd} = 13.57 \text{ kN/cm}^2$

Obergurt: Grenznormalkräfte $N_{max,O} = 676.80 \text{ kN}$, $N_{min,O} = -676.80 \text{ kN}$

Untergurt: Grenznormalkräfte $N_{max,U} = 676.80 \text{ kN}$, $N_{min,U} = -676.80 \text{ kN}$

Steg: Querkraft $V_s = 125.19 \text{ kN}$, Schubspannung $\tau_s = 7.66 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U_{\tau,s} = 0.564$

Grenznormalkräfte $N_{max,S} = 317.19 \text{ kN}$, $N_{min,S} = -317.19 \text{ kN}$

Hauptbieg.: Normalkraft $N = -45.53 \text{ kN}$, Grenznormalkräfte $N_{max} = 1670.79 \text{ kN}$, $N_{min} = -1670.79 \text{ kN} \Rightarrow U_N = 0.027$

Moment $M_y = -152.79 \text{ kNm}$, Grenzmomente $M_{y,max} = 164.47 \text{ kNm}$, $M_{y,min} = -164.47 \text{ kNm} \Rightarrow U_{M_y} = 0.929$

Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): max $U = 0.936 < 1$ **o.k.**

Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_\sigma = 0.936 < 1$ **o.k.**, c/t -Verhältnis $U_{c/t} = 0.794 < 1$ **o.k.**

Anschlussstragfähigkeit

Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 274.0 \text{ mm}$, $h_2 = 164.0 \text{ mm}$, $h_3 = 54.0 \text{ mm}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (MNV-Interaktion)

$$\text{Reihe 1: } F_{tr,Rd} = 309.8 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 2: } F_{tr,Rd} = 92.6 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 3: } F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_{tr,Rd} = 402.3 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit der Flansche (MNV-Interaktion)

$$F_{c,Rd} = 432.4 \text{ kN}$$

Biegetragfähigkeit

$$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 100.1 \text{ kNm}$$

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd} = 402.3 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = F_{c,Rd} = 432.4 \text{ kN}$$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$$V_{j,Rd} = 82.6 \text{ kN (MNV-Interaktion)}$$

Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

$$\text{Blech: } V_{ep,Rd} = 667.53 \text{ kN}$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): } f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Schweißnähte: } F_{w,Rd} = 272.69 \text{ kN}$$

$$\text{Schubtragfähigkeit des Stirnblechs: } V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 272.69 \text{ kN}$$

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

$$V_{wp,Rd}/\beta = 432.4 \text{ kN}$$

plastische Schubtragfähigkeit

$$V_{pl,Rd} = 0.5 \cdot A_v \cdot (f_y/31^{1/2}) / \gamma_{M0} = 170.8 \text{ kN (Bedingung, s. 'Typisierte Anschlüsse')}$$

Gesamt

$$M_{j,Rd} = 100.1 \text{ kNm} \quad N_{j,t,Rd} = 402.3 \text{ kN} \quad N_{j,c,Rd} = 432.4 \text{ kN} \quad V_{j,Rd} = 82.6 \text{ kN} \quad V_{wp,Rd}/\beta = 432.4 \text{ kN} \quad V_{pl,Rd} = 170.8 \text{ kN}$$

$V_{ep,Rd} = 272.7 \text{ kN}$

Nachweise

Nachweis der Anschlussstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

$U_{MNv} = 1.515 > 1$ **Fehler !!**

$V_{wp,Ed}/(V_{wp,Rd}/\beta) = 1.670 > 1$ **Fehler !!**

$V_{Ed}/V_{pl,Rd} = 0.733 < 1$ **o.k.**

$V_{Ed}/V_{ep,Rd} = 0.459 < 1$ **o.k.**

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 4: NA-DE: Blechdicke $t_{max} \geq 30 \text{ mm}$: Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} < a_{min} = 5 \text{ mm}$!!

Naht 4: Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{max} = 0.7 \cdot t_{min} = 3.7 \text{ mm}$!!

Naht 5: NA-DE: Blechdicke $t_{max} \geq 30 \text{ mm}$: Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} < a_{min} = 5 \text{ mm}$!!

Naht 5: Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{max} = 0.7 \cdot t_{min} = 3.7 \text{ mm}$!!

Schweißnähte:

Naht 1: $a_w = 6.0 \text{ mm}$ $l_w = 240.0 \text{ mm}$

Naht 2: $a_w = 6.0 \text{ mm}$ $l_w = 95.3 \text{ mm}$

Naht 3: siehe Naht 2

Naht 4: $a_w = 4.0 \text{ mm}$ $l_w = 164.0 \text{ mm}$

Naht 5: siehe Naht 4

Naht 6: $a_w = 6.0 \text{ mm}$ $l_w = 95.3 \text{ mm}$

Naht 7: siehe Naht 6

Naht 8: $a_w = 6.0 \text{ mm}$ $l_w = 240.0 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$N_{Ed} = -45.53 \text{ kN}$, $M_{y,Ed} = -156.55 \text{ kNm}$, $V_{z,Ed} = 125.19 \text{ kN}$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$\Sigma A_w = 64.78 \text{ cm}^2$, $A_{w,z} = 13.12 \text{ cm}^2$, $\Sigma l_w = 118.9 \text{ cm}$

$I_{w,y} = 6528.08 \text{ cm}^4$, $I_{w,z} = 2754.52 \text{ cm}^4$, $W_{w,t} = 61.47 \text{ cm}^3$, $\Delta z_w = 0.0 \text{ mm}$

Nachweise in den Endpunkten der Einzelnähte:

Naht 1, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 268.75 \text{ N/mm}^2$

$\Rightarrow U_w = 1.056 > 1$ **Fehler !!**

Naht 2, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 239.97 \text{ N/mm}^2$

$\Rightarrow U_w = 0.943 < 1$ **o.k.**

Naht 4, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 189.61 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 95.42 \text{ N/mm}^2$

$\Rightarrow U_w = 0.875 < 1$ **o.k.**

Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -203.67 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 95.42 \text{ N/mm}^2$

$\Rightarrow U_w = 0.922 < 1$ **o.k.**

Naht 6, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -254.03 \text{ N/mm}^2$

$\Rightarrow U_w = 0.998 < 1$ **o.k.**

Naht 8, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -282.80 \text{ N/mm}^2$

$\Rightarrow U_w = 1.111 > 1$ **Fehler !!**

Ergebnis:

Naht 8, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -282.80 \text{ N/mm}^2$

Max: $\sigma_{1,w,Ed} = 39.99 \text{ kN/cm}^2 > f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2$,

$\sigma_{2,w,Ed} = 20.00 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U_w = 1.111 > 1$ **Fehler !!**

Nachweis der Stegsteifen

Drucksteife

$F_{c,Ed} = 737.69 \text{ kN}$

Kräfte je Rippe

$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 295.1 \text{ kN}$, $H = F \cdot e_F / e_H = 96.7 \text{ kN}$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: $c/t = 10.3 \cdot \epsilon \leq 33 \cdot \epsilon \Rightarrow$ Q-Klasse $1 \leq 2$ **o.k.**

Querschnitt am Flansch

Drucktragfähigkeit $N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 248.16 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 339.3 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 339.3 \text{ kN} > F_{Rd} = 248.2 \text{ kN} \Rightarrow U = 1.367 > 1$ **Fehler !!**

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = 397.26 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 295.1 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 295.1 \text{ kN} < F_{Rd} = 397.3 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.743 < 1$ **o.k.**

Schweißnähte am Flansch

Bemessungsgrößen: $F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 16.77 \text{ kN/cm}$, $F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 5.50 \text{ kN/cm}$, $b_1 = 88.0 \text{ mm}$

$\sigma_{1,w,Ed} = 32.13 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.893 < 1$ **o.k.**

$\sigma_{2,w,Ed} = 27.94 \text{ kN/cm}^2 > f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 1.078 > 1$ **Fehler !!**

Schweißnähte am Steg

Bemessungsgröße: $F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 8.58 \text{ kN/cm}$, $l_1 = 172.0 \text{ mm}$

$\sigma_{1,w,Ed} = 37.14 \text{ kN/cm}^2 > f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 1.032 > 1$ **Fehler !!**

Zugsteife

$F_{t,Ed} = 692.16 \text{ kN}$

Kräfte je Rippe

$F = 0.5 \cdot F_{t,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 276.9 \text{ kN}$, $H = F \cdot e_F / e_H = 90.8 \text{ kN}$

Querschnitt am Flansch

Zugtragfähigkeit $N_{t,Rd} = 248.16 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 318.4 \text{ kN}$
 $F_{Ed} = 318.4 \text{ kN} > F_{Rd} = 248.2 \text{ kN} \Rightarrow U = 1.283 > 1$ **Fehler !!**

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = 397.26 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 276.9 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 276.9 \text{ kN} < F_{Rd} = 397.3 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.697 < 1$ **o.k.**

Schweißnähte am Flansch

Bemessungsgrößen: $F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 15.73 \text{ kN/cm}$, $F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 5.16 \text{ kN/cm}$, $b_1 = 88.0 \text{ mm}$

$\sigma_{1,w,Ed} = 30.15 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.838 < 1$ **o.k.**

$\sigma_{2,w,Ed} = 26.22 \text{ kN/cm}^2 > f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 1.012 > 1$ **Fehler !!**

Schweißnähte am Steg

Bemessungsgröße: $F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 8.05 \text{ kN/cm}$, $l_1 = 172.0 \text{ mm}$

$\sigma_{1,w,Ed} = 34.85 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.968 < 1$ **o.k.**

Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 1.670 > 1$ **Fehler !!**

Versagen beim Nachweis für Biegung: $U = 1.515$

Versagen beim Nachweis Schub im Stützenstegfeld: $U = 1.670$

Versagen beim Nachweis der Schweißnähte: $U = 1.111$

Versagen beim Nachweis der Stegsteifen: $U = 1.367$

Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 5.51 \text{ mm}$

$k_2 = \infty$ (ausgesteift)

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 2 Zug-Schraubenreihen:

1: $k_3 = 7.50 \text{ mm}$, $k_4 = 7.11 \text{ mm}$, $k_5 = 36.14 \text{ mm}$, $k_{10} = 8.25 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \sum(1/k_{i,1}) = 2.365 \text{ mm}$

2: $k_3 = 6.49 \text{ mm}$, $k_4 = 6.15 \text{ mm}$, $k_5 = 32.82 \text{ mm}$, $k_{10} = 8.25 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \sum(1/k_{i,2}) = 2.134 \text{ mm}$

$k_{eq} = \sum(k_{eff,r} \cdot h_r) / z_{eq} = 4.239 \text{ mm}$, $z_{eq} = \sum(k_{eff,r} \cdot h_r^2) / \sum(k_{eff,r} \cdot h_r) = 235.4 \text{ mm}$

Rotationssteifigkeit

Anfangsrotationssteifigkeit: $S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \sum(1/k_i) = 27881.2 \text{ kNm/rad}$, $z = z_{eq} = 235.4 \text{ mm}$, $\sum(1/k_i) = 0.417 \text{ mm}^{-1}$

$N_{b,Ed} = N_d = 45.53 \text{ kN}$

$|N_{b,Ed}| = 45.53 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 90.28 \text{ kN}$ **o.k.**

$|M_{j,Ed}| = 151.58 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,Rd} = 66.7 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^\Psi = 9.174$, $\Psi = 2.7$

Rotationssteifigkeit: $S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 3039.2 \text{ kNm/rad}$

Verdrehung: $\varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 2.858^\circ$