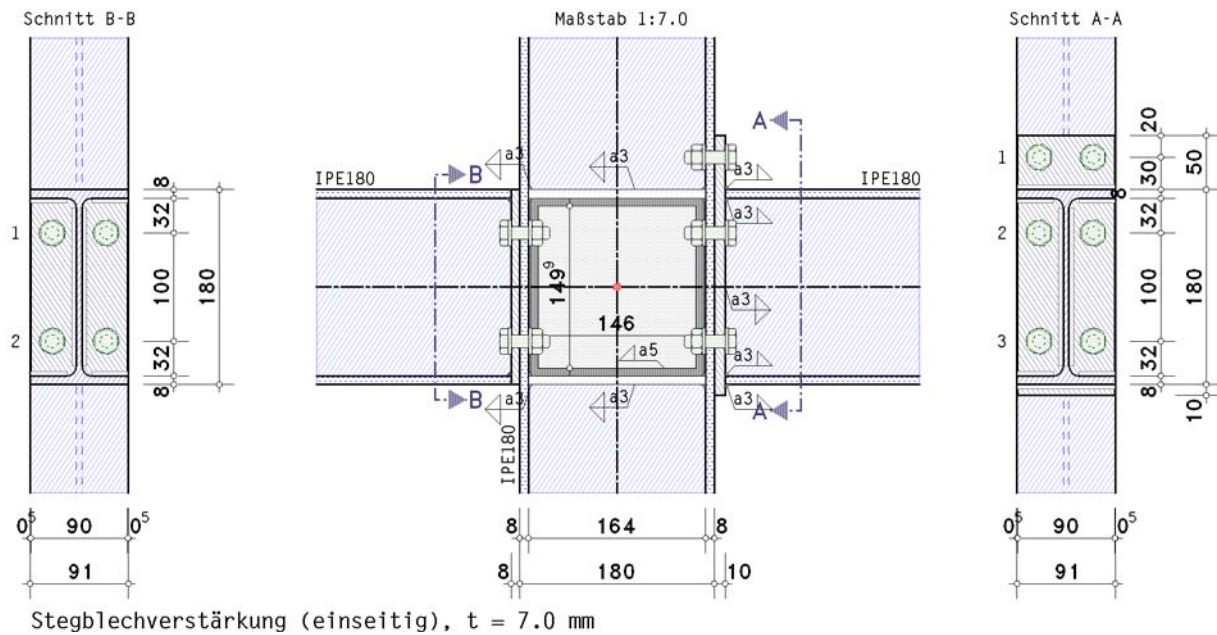
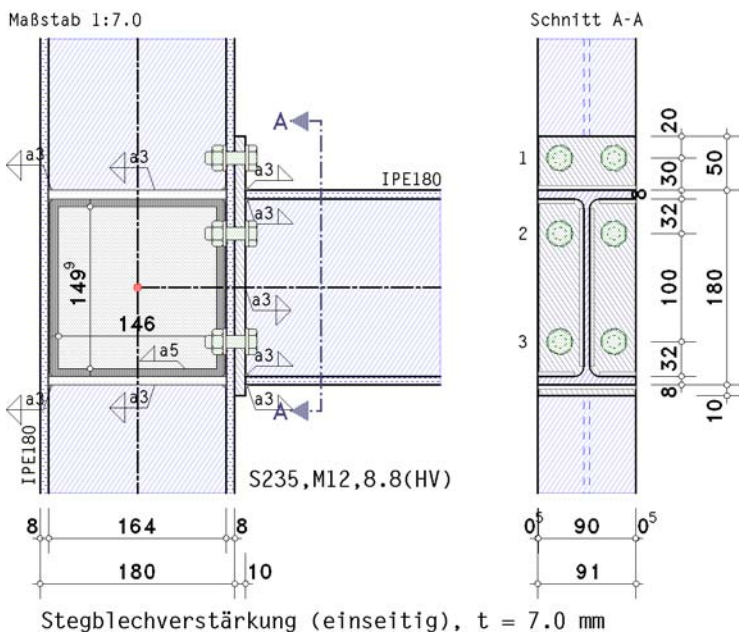


Biegesteifer Trägeranschluss EC 3-1-8 (12.10), NA: Deutschland

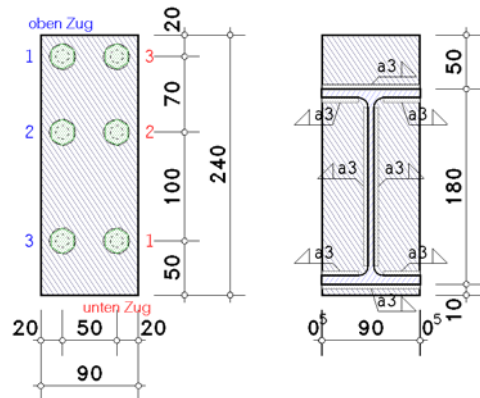
1. Eingabeprotokoll



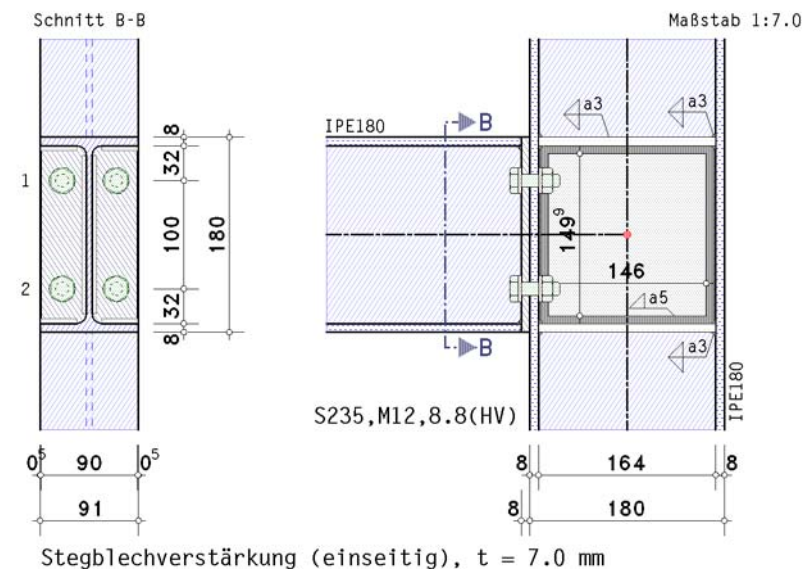
Anschluss rechts



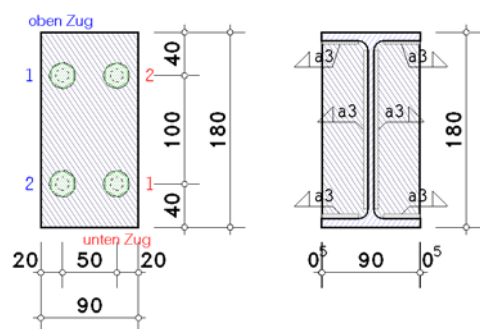
Details (Schnitt A - A)



Anschluss links



Details (Schnitt B - B)



Nach EC 3-1-8, 5.3 wird bei zweiseitigen Träger-Stützen-Verbindungen jede Anschlussseite unabhängig von der anderen untersucht.

Stahlsorte

Stahlgüte S235

Parameter der Stütze

Profil IPE180

Verstärkung des Profils durch 1 Stegblech(e):

Dicke $t_s = 7.0$ mm, Breite $b_s = 146.0$ mm

Schweißnahtdicke $a_s = 5.0$ mm

Verstärkung des Profils durch Quersteifen (Stegsteifen in Höhe des max. Trägerzug- und -druckflanschs, $d_{st} = 172.0$ mm):

Dicke $t_{st} = 8.0$ mm, Breite $b_{st} = 42.9$ mm, Länge $l_{st} = 164.0$ mm

Aussparung an den Steifen $c_{st} = 13.5$ mm

Schweißnähte $a_{st,f} = 3.0$ mm, $a_{st,w} = 3.0$ mm

Zweiseitiger Träger-Stützenanschluss, rechts

Schrauben

Festigkeitsklasse 8.8, Schraubengröße M12

große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt (zur Info: Regelvorspannkraft $F_{p,c^*} = 0.7 \cdot f_{yb} \cdot A_s = 37.8$ kN)

Schaft in der Scherfuge

Parameter des Trägers

Profil IPE180

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss:

Dicke $t_p = 10.0$ mm, Breite $b_p = 90.0$ mm, Länge $l_p = 240.0$ mm

Überstände $h_{p,o} = 50.0$ mm, $h_{p,u} = 10.0$ mm

Schrauben im Anschluss:

3 Schraubenreihen mit je 2 Schrauben

alle Schraubenreihen einzeln betrachtet

alle Schraubenreihen zur Querkraftübertragung (Reihen 1-3)

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

Nachweis mit der Komponentenmethode: MNV-Interaktion nach Cerfontaine (in Jaspart/Weynand)

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 20.0$ mm

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 20.0$ mm

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 50.0$ mm

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 70.0$ mm, $p_{2-3} = 100.0$ mm

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 3.0$ mm

Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 3.0$ mm

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 3.0$ mm

Zweiseitiger Träger-Stützenanschluss, links

Schrauben

Festigkeitsklasse 8.8, Schraubengröße M12

große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt (zur Info: Regelvorspannkraft $F_{p,c}^* = 0.7 \cdot f_{yb} \cdot A_s = 37.8$ kN)

Schaft in der Scherfuge

Parameter des Trägers

Profil IPE180

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss:

Dicke $t_p = 8.0$ mm, Breite $b_p = 90.0$ mm, Länge $l_p = 180.0$ mm

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

Schrauben im Anschluss:

2 Schraubenreihen mit je 2 Schrauben

alle Schraubenreihen einzeln betrachtet

alle Schraubenreihen zur Querkraftübertragung (Reihen 1-2)

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

Nachweis mit der Komponentenmethode: MNV-Interaktion nach Cerfontaine (in Jaspart/Weynand)

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 20.0$ 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 $p_{1-2} = 100.0$ mm

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 3.0$ mm

Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 3.0$ mm

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 3.0$ mm

Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen bezogen auf die ungevoutete Trägerachse

$N_{j,b1,Ed}, M_{j,b1,Ed}, V_{j,b1,Ed}, N_{j,b2,Ed}, M_{j,b2,Ed}, V_{j,b2,Ed}, N_{j,c1,Ed}, M_{j,c1,Ed}, V_{j,c1,Ed}, N_{j,c2,Ed}, M_{j,c2,Ed}, V_{j,c2,Ed}$: Schnittgrößen nach der Vorzeichenregel der Statik

Lk	$N_{j,b1,Ed}$ kN	$M_{j,b1,Ed}$ kNm	$V_{j,b1,Ed}$ kN	$N_{j,b2,Ed}$ kN	$M_{j,b2,Ed}$ kNm	$V_{j,b2,Ed}$ kN	$N_{j,c1,Ed}$ kN	$M_{j,c1,Ed}$ kNm	$V_{j,c1,Ed}$ kN	$N_{j,c2,Ed}$ kN	$M_{j,c2,Ed}$ kNm	$V_{j,c2,Ed}$ kN	
--													
1	-1.38	-13.58	14.22	0.10	-2.68	-1.22	-16.22	-5.98	-4.70	-0.77	4.92	-3.22	Import LK 1
2	0.95	5.21	-1.38	-7.30	-9.93	-6.18	-7.84	11.00	13.62	-3.05	-4.14	5.37	Import LK 2
3	0.87	5.40	-1.57	-7.32	-9.86	-6.06	-7.11	11.04	13.65	-2.62	-4.22	5.46	Import LK 3
4	-1.30	-13.76	14.41	0.13	-2.75	-1.33	-16.95	-6.01	-4.73	-1.20	5.00	-3.30	Import LK 4
5	-0.20	-3.73	8.02	-7.26	-11.60	-6.68	-16.99	6.95	10.44	-2.29	-0.92	3.37	Import LK 5
6	-0.12	-3.91	8.20	-7.24	-11.67	-6.80	-17.72	6.92	10.41	-2.72	-0.85	3.29	Import LK 6
7	-1.24	-13.77	14.41	0.16	-2.76	-1.34	-16.95	-5.99	-4.69	-1.20	5.02	-3.31	Import LK 7
8	-1.32	-13.58	14.23	0.13	-2.68	-1.22	-16.22	-5.96	-4.67	-0.77	4.94	-3.23	Import LK 8
9	-0.83	-10.20	13.15	-4.26	-8.56	-4.78	-19.96	0.71	3.56	-2.03	2.35	0.11	Import LK 9
10	-0.92	-10.01	12.96	-4.28	-8.48	-4.67	-19.23	0.74	3.59	-1.60	2.27	0.20	Import LK 10
11	-0.92	-10.20	13.15	-4.31	-8.54	-4.78	-19.97	0.67	3.51	-2.04	2.33	0.12	Import LK 11
12	0.23	-0.53	0.53	0.07	-0.21	-0.32	-2.08	-0.10	-0.08	-1.23	0.22	-0.24	Import LK 12
13	0.88	5.40	-1.57	-7.31	-9.86	-6.05	-7.09	11.04	13.65	-2.61	-4.22	5.46	Import LK 13
14	0.96	5.22	-1.39	-7.29	-9.93	-6.16	-7.82	11.01	13.62	-3.04	-4.14	5.37	Import LK 14
15	-0.18	-3.92	8.20	-7.27	-11.66	-6.81	-17.74	6.89	10.38	-2.73	-0.85	3.29	Import LK 15
16	-0.26	-3.74	8.02	-7.30	-11.58	-6.70	-17.01	6.92	10.41	-2.30	-0.93	3.37	Import LK 16
17	0.31	-0.71	0.72	0.09	-0.29	-0.43	-2.81	-0.13	-0.11	-1.67	0.30	-0.33	Import LK 17

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 $\gamma_{M7} = 1.10$

Datencheck

Anschluss rechts:

ok

Anschluss links:

ok

Schrauben rechts:

Abstände der Schraubenreihen am Stirnblech

horizontal: $e_2 = 20.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 15.6 \text{ mm}$, $e_2 = 20.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$
horizontal: $p_2 = 50.0 \text{ mm} > 2.4 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$, $p_2 = 50.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 112.0 \text{ mm}$
vertikal: $e_1 = 20.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 15.6 \text{ mm}$, $e_1 = 20.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$
vertikal: $p_1 = 70.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 28.6 \text{ mm}$, $p_1 = 70.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 112.0 \text{ mm}$
vertikal: $p_1 = 100.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 28.6 \text{ mm}$, $p_1 = 100.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 112.0 \text{ mm}$
vertikal: $e_1 = 50.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 15.6 \text{ mm}$, $e_1 = 50.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$
Horizontaler Abstand der Schrauben vom Stützenrand
vertikal: $e_1 = 20.5 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 15.6 \text{ mm}$, $e_1 = 20.5 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$

Schrauben links:

Abstände der Schraubenreihen am Stirnblech

horizontal: $e_2 = 20.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 15.6 \text{ mm}$, $e_2 = 20.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$
horizontal: $p_2 = 50.0 \text{ mm} > 2.4 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$, $p_2 = 50.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 112.0 \text{ mm}$
vertikal: $e_1 = 40.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 15.6 \text{ mm}$, $e_1 = 40.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$
vertikal: $p_1 = 100.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 28.6 \text{ mm}$, $p_1 = 100.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 112.0 \text{ mm}$
vertikal: $e_1 = 40.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 15.6 \text{ mm}$, $e_1 = 40.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$
Horizontaler Abstand der Schrauben vom Stützenrand
vertikal: $e_1 = 20.5 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 15.6 \text{ mm}$, $e_1 = 20.5 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$

Ausnutzungen je Anschlussseite (rechts)

Lk	$U_{\sigma,b}$	$U_{\sigma,c}$	U_{MNv}	U_{wp}	U_{ep}	U_{sb}	U_{ss}	U
1	0.320	0.155	0.572	0.199	0.078	0.507	0.652	0.652
2	0.132	0.262	0.442	0.974	0.008	0.211	0.366	0.974
3	0.136	0.263	0.456	0.981	0.009	0.217	0.378	0.981
4	0.325	0.157	0.580	0.201	0.079	0.514	0.660	0.660
5	0.083	0.172	0.152	---	0.044	0.124	0.159	0.172
6	0.087	0.172	0.160	---	0.045	0.130	0.167	0.172
7	0.325	0.156	0.580	0.201	0.079	0.514	0.660	0.660
8	0.321	0.155	0.572	0.199	0.078	0.507	0.652	0.652
9	0.237	0.062	0.419	0.005	0.072	0.371	0.477	0.477
10	0.232	0.060	0.411	0.005	0.071	0.365	0.469	0.469
11	0.237	0.061	0.420	0.006	0.072	0.372	0.478	0.478
12	0.013	0.006	0.023	0.004	0.003	0.020	0.026	0.026
13	0.136	0.263	0.456	0.982	0.009	0.218	0.378	0.982
14	0.132	0.262	0.442	0.975	0.008	0.211	0.367	0.975
15	0.088	0.172	0.160	---	0.045	0.131	0.168	0.172
16	0.083	0.172	0.153	---	0.044	0.124	0.159	0.172
17	0.017	0.009	0.031	0.006	0.004	0.027	0.036	0.036

$U_{\sigma,b}$: Spannungsausnutzung am Träger; $U_{\sigma,c}$: Spannungsausnutzung an der Stütze; U_{MNv} : Ausnutzung aus MNV-Interaktion
 U_{wp} : Ausnutzung aus Schub im Stützensteg; U_{pl} : Ausnutzung aus Schub im Stirnblech; U_{sb} : Ausnutzung aus Schweißnaht
 U_{ss} : Ausnutzung aus Steifen/Rippen; U: Ausnutzung je Anschlussseite

Ausnutzungen je Anschlussseite (links)

Lk	$U_{\sigma,b}$	$U_{\sigma,c}$	U_{MNv}	U_{wp}	U_{ep}	U_{sb}	U_{ss}	U
1	0.067	0.155	0.228	---	0.008	0.106	0.183	0.228
2	0.245	0.262	0.730	0.743	0.039	0.400	0.679	0.743
3	0.243	0.263	0.724	0.759	0.038	0.398	0.675	0.759
4	0.068	0.157	0.234	---	0.008	0.108	0.187	0.234
5	0.286	0.172	0.865	0.177	0.042	0.467	0.794	0.865
6	0.288	0.172	0.871	0.171	0.043	0.469	0.798	0.871
7	0.068	0.156	0.234	---	0.008	0.108	0.188	0.234
8	0.067	0.155	0.229	---	0.008	0.106	0.183	0.229
9	0.211	0.062	0.648	---	0.030	0.342	0.584	0.648
10	0.210	0.060	0.642	---	0.029	0.340	0.580	0.642
11	0.211	0.061	0.646	---	0.030	0.342	0.583	0.646
12	0.005	0.006	0.016	---	0.002	0.008	0.013	0.016
13	0.243	0.263	0.725	0.760	0.038	0.398	0.675	0.760
14	0.245	0.262	0.730	0.744	0.039	0.400	0.679	0.744
15	0.288	0.172	0.869	0.170	0.043	0.469	0.797	0.869
16	0.286	0.172	0.864	0.176	0.042	0.466	0.793	0.864
17	0.007	0.009	0.021	---	0.003	0.010	0.018	0.021

$U_{\sigma,b}$: Spannungsausnutzung am Träger; $U_{\sigma,c}$: Spannungsausnutzung an der Stütze; U_{MNv} : Ausnutzung aus MNV-Interaktion
 U_{wp} : Ausnutzung aus Schub im Stützensteg; U_{pl} : Ausnutzung aus Schub im Stirnblech; U_{sb} : Ausnutzung aus Schweißnaht
 U_{ss} : Ausnutzung aus Steifen/Rippen; U: Ausnutzung je Anschlussseite

2. Endergebnis

Ausnutzung/Rotation der Verbindung

Lk	rechts			links			U _j	Gleichgewicht			
	S _{j,ini} MNm/rad	S _j MNm/rad	φ _j °	S _{j,ini} MNm/rad	S _j MNm/rad	φ _j °		ΣH kN	ΣV kN	ΣM kNm	
1	9.3	9.3	0.075	3.3	3.3	0.045	0.652	0.00	0.00	0.00	ok
2	3.5	3.5	0.086	3.6	3.6	0.138	0.974	0.00	0.00	0.00	ok
3	3.5	3.5	0.088	3.6	3.6	0.138	0.981	0.00	0.00	0.00	ok
4	9.3	9.3	0.076	3.3	3.3	0.046	0.660	0.00	0.00	0.00	ok
5	6.3	6.3	0.027	4.4	4.4	0.135	0.865	0.01	0.00	0.00	ok
6	6.3	6.3	0.029	4.4	4.4	0.135	0.871	0.01	0.00	0.00	ok
7	9.3	9.3	0.076	3.3	3.3	0.046	0.660	0.02	0.00	0.00	ok
8	9.3	9.3	0.075	3.3	3.3	0.045	0.652	0.02	0.00	0.00	ok
9	12.5	12.5	0.041	5.0	5.0	0.089	0.648	0.03	0.00	0.00	ok
10	12.6	12.6	0.040	5.0	5.0	0.087	0.642	0.03	0.00	0.00	ok
11	12.5	12.5	0.041	5.0	5.0	0.088	0.646	0.00	0.00	0.00	ok
12	10.2	10.2	0.003	3.7	3.7	0.003	0.026	0.00	0.00	0.00	ok
13	3.5	3.5	0.089	3.6	3.6	0.138	0.982*	0.00	0.00	0.00	ok
14	3.5	3.5	0.086	3.6	3.6	0.138	0.975	0.00	0.00	0.00	ok
15	6.4	6.4	0.028	4.4	4.4	0.135	0.869	0.00	0.00	0.00	ok
16	6.3	6.3	0.027	4.4	4.4	0.135	0.864	0.00	0.00	0.00	ok
17	10.2	10.2	0.004	3.7	3.7	0.004	0.036	0.00	0.00	0.00	ok

S_{j,ini}: Anfangsrotationssteifigkeit; S_j: Rotationssteifigkeit; φ_j: Verdrehung; U_j: Ausnutzung der Verbindung; Gleichgewichtstoleranzen 1 kN / 1 kNm
*) maximale Ausnutzung

Maximale Ausnutzung [Lk 13]: max U = 0.982 < 1 **ok**

Minimale Rotationssteifigkeit (rechts): min S_j = 3.5 MNm/rad, S_{j,ini} = 3.5 MNm/rad, φ_j = 0.086°

Minimale Rotationssteifigkeit (links): min S_j = 3.3 MNm/rad, S_{j,ini} = 3.3 MNm/rad, φ_j = 0.045°

Nachweis erbracht

3. Detaillierte Ausgabe von Lk 13 (maßgebend)

Hinweise

Die Schweißnähte der Stegbleche werden nicht nachgewiesen.

3.1. Anschluss rechts

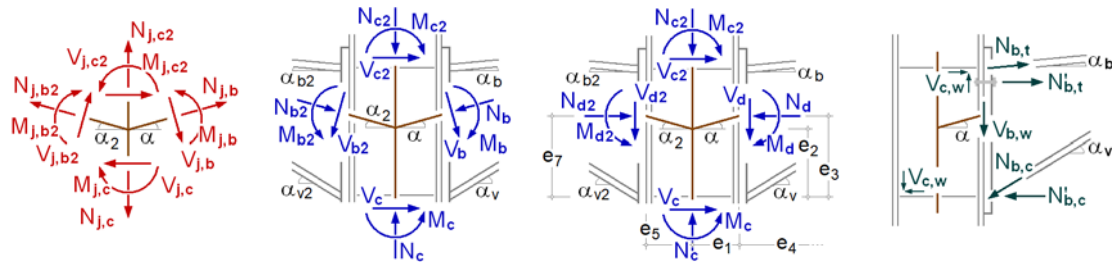
Hinweise

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

3.1.1. Bemessungsgrößen

Knotenschnittgrößen Anschnitt Anschluss ⊥ zur Anschlussebene

Teilschnittgrößen



Neigungswinkel: α_b = α_v = α = 0°

Abstände: e₁ = 90.0 mm, e₃ = 86.0 mm, e₂ = 86.0 mm, e₅ = 90.0 mm, e₇ = 86.0 mm

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger (rechts)

N_d = -0.88 kN, M_d = -5.26 kNm, V_d = -1.57 kN

Anschnitt Träger (links)

N_{d2} = 7.31 kN, M_{d2} = 9.31 kNm, V_{d2} = -6.05 kN

Anschnitt Stütze (unten)

N_c = 7.09 kN, M_c = -9.87 kNm, V_c = 13.65 kN

Anschnitt Stütze (oben)

N_{c2} = 2.61 kN, M_{c2} = 3.75 kNm, V_{c2} = 5.46 kN

negatives Biegemoment M_d ⇒ **Modell wird gespiegelt**

N_d = -0.88 kN, M_d = 5.26 kNm, V_d = 1.57 kN

N_{d2} = 7.31 kN, M_{d2} = -9.31 kNm, V_{d2} = -6.05 kN

N_c = 2.61 kN, M_c = 3.75 kNm, V_c = 5.46 kN

N_{c2} = 7.09 kN, M_{c2} = -9.87 kNm, V_{c2} = -13.65 kN

Teilschnittgrößen bezogen auf das gespiegelte Modell

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: M'_d = M_d - V_d · t_{ep} = 5.25 kNm

N_{b,t} = -N_d · z_{bu} / z_b + M'_d / z_b = 30.93 kN, z_b = 172.0 mm, z_{bu} = 86.0 mm

$$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo} / z_b + M'_d / z_b = 30.06 \text{ kN}, \quad z_b = 172.0 \text{ mm}, \quad z_{bo} = 86.0 \text{ mm}$$

3.1.2. Querschnittstragfähigkeit

Stütze unten

plastischer Querschnittsnachweis für $N = -2.61 \text{ kN}$, $M_y = -3.75 \text{ kNm}$, $V_z = -5.46 \text{ kN}$

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

Obergurt: Grenznormalkräfte $N_{\max,O} = 171.08 \text{ kN}$, $N_{\min,O} = -171.08 \text{ kN}$

Untergurt: Grenznormalkräfte $N_{\max,U} = 171.08 \text{ kN}$, $N_{\min,U} = -171.08 \text{ kN}$

Steg: Querkraft $V_s = -5.46 \text{ kN}$, Schubspannung $\tau_s = 0.60 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U_{\tau,s} = 0.044$

Grenznormalkräfte $N_{\max,s} = 214.02 \text{ kN}$, $N_{\min,s} = -214.02 \text{ kN}$

Hauptbieg.: Normalkraft $N = -2.61 \text{ kN}$, Grenznormalkräfte $N_{\max} = 556.18 \text{ kN}$, $N_{\min} = -556.18 \text{ kN} \Rightarrow U_N = 0.005$

Moment $M_y = -3.75 \text{ kNm}$, Grenzmomente $M_{y,\max} = 38.63 \text{ kNm}$, $M_{y,\min} = -38.63 \text{ kNm} \Rightarrow U_{M_y} = 0.097$

Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): $\max U = 0.100 < 1$ **ok**

Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_\sigma = 0.100 < 1$ **ok**, c/t -Verhältnis $U_{c/t} = 0.101 < 1$ **ok**

Stütze oben

plastischer Querschnittsnachweis für $N = -7.09 \text{ kN}$, $M_y = 9.87 \text{ kNm}$, $V_z = -13.65 \text{ kN}$

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

Obergurt: Grenznormalkräfte $N_{\max,O} = 171.08 \text{ kN}$, $N_{\min,O} = -171.08 \text{ kN}$

Untergurt: Grenznormalkräfte $N_{\max,U} = 171.08 \text{ kN}$, $N_{\min,U} = -171.08 \text{ kN}$

Steg: Querkraft $V_s = -13.65 \text{ kN}$, Schubspannung $\tau_s = 1.50 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U_{\tau,s} = 0.110$

Grenznormalkräfte $N_{\max,s} = 212.92 \text{ kN}$, $N_{\min,s} = -212.92 \text{ kN}$

Hauptbieg.: Normalkraft $N = -7.09 \text{ kN}$, Grenznormalkräfte $N_{\max} = 555.08 \text{ kN}$, $N_{\min} = -555.08 \text{ kN} \Rightarrow U_N = 0.013$

Moment $M_y = 9.87 \text{ kNm}$, Grenzmomente $M_{y,\max} = 38.57 \text{ kNm}$, $M_{y,\min} = -38.57 \text{ kNm} \Rightarrow U_{M_y} = 0.256$

Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): $\max U = 0.263 < 1$ **ok**

Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_\sigma = 0.263 < 1$ **ok**, c/t -Verhältnis $U_{c/t} = 0.164 < 1$ **ok**

Träger

plastischer Querschnittsnachweis für $N = 0.88 \text{ kN}$, $M_y = -5.25 \text{ kNm}$, $V_z = 1.57 \text{ kN}$

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

Obergurt: Grenznormalkräfte $N_{\max,O} = 171.08 \text{ kN}$, $N_{\min,O} = -171.08 \text{ kN}$

Untergurt: Grenznormalkräfte $N_{\max,U} = 171.08 \text{ kN}$, $N_{\min,U} = -171.08 \text{ kN}$

Steg: Querkraft $V_s = 1.57 \text{ kN}$, Schubspannung $\tau_s = 0.17 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U_{\tau,s} = 0.013$

Grenznormalkräfte $N_{\max,s} = 214.21 \text{ kN}$, $N_{\min,s} = -214.21 \text{ kN}$

Hauptbieg.: Normalkraft $N = 0.88 \text{ kN}$, Grenznormalkräfte $N_{\max} = 556.37 \text{ kN}$, $N_{\min} = -556.37 \text{ kN} \Rightarrow U_N = 0.002$

Moment $M_y = -5.25 \text{ kNm}$, Grenzmomente $M_{y,\max} = 38.64 \text{ kNm}$, $M_{y,\min} = -38.64 \text{ kNm} \Rightarrow U_{M_y} = 0.136$

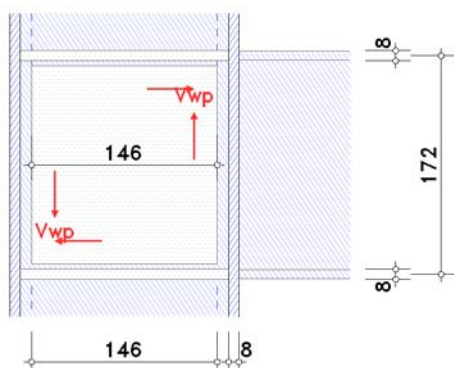
Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): $\max U = 0.136 < 1$ **ok**

Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_\sigma = 0.136 < 1$ **ok**, c/t -Verhältnis $U_{c/t} = 0.117 < 1$ **ok**

3.1.3. Grundkomponenten

3.1.3.1. Gk 1: Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9)) $\beta_j = |1 - M_{j2}/M_{j1}| = 2.00$ für $M_{j1} = -5.40 \text{ kNm}$, $M_{j2} = 9.86 \text{ kNm}$



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

Stegdicke einschl. Verstärkung $t_{wc} = 10.6 \text{ mm}$

Schlankheit des Stützenstegs $d_c/t_{wc} = 13.77 < 69 \cdot \epsilon = 69.00 \Rightarrow$ Verfahren anwendbar

Schubfläche mit Verstärkung $A_v = 18.99 \text{ cm}^2$

plastische Schubtragfähigkeit ohne Steifen $V_{wp,Rd} = (0.9 \cdot f_{y,w} \cdot A_v) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 231.9 \text{ kN}$

Anordnung von zwischenliegenden Stegsteifen:

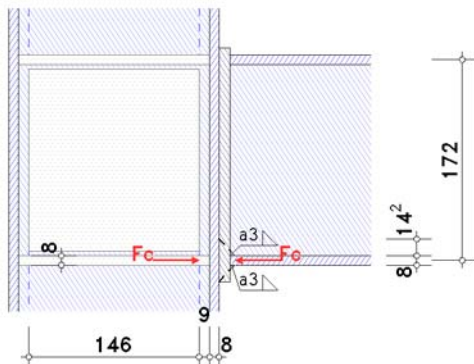
zusätzliche Tragfähigkeit $V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd} / d_{st} = 8.0 \text{ kN}$

$V_{wp,add,Rd} > 2 \cdot (M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,st,Rd}) / d_{st} = 7.7 \text{ kN} \Rightarrow V_{wp,add,Rd} = 7.7 \text{ kN}$

plastische Schubtragfähigkeit mit Quersteifen $V_{wp,Rd} = 239.6 \text{ kN}$

3.1.3.2. Gk 2: Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9)) $\beta_j = 11 - M_{j2}/M_{j1} = 2.00$ für $M_{j1} = -5.40$ kNm, $M_{j2} = 9.86$ kNm
 Längsdruckspannung im Stützensteg $\sigma_{\text{com,Ed}} = 21.88$ N/mm²



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

Verstärkung des Stegs durch Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: $c/t = 5.4 \cdot \epsilon \leq 33 \cdot \epsilon \Rightarrow$ Q-Klasse $1 \leq 2$ **ok**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfelds (Abstand der Steifen) $a = 172.0$ mm

Steghöhe zwischen den Flanschen $h_{wc} = 164.0$ mm

Trägheitsmoment der Steifen $I_{st} = 50.24$ cm⁴

Mindestträgheitsmoment für $a/h_{wc} = 1.05 < 2^{1/2}$: $I_{st,min} = 3.33$ cm⁴ $< I_{st}$ **ok**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen $I_T = 0.73$ cm⁴

polares Trägheitsmoment der Steifen $I_p = 5.43$ cm⁴

$I_T / I_p \approx 0.135 > 0.006 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st}$ **ok**

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

Fläche der Steifen einschl. Steg $A_{st} = 7.28$ cm²

Schlankheitsgrad $\lambda = 0.066$

$\lambda \leq 0.2 \Rightarrow$ keine Abminderung ($\chi = 1.0$)

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken $F_{c,w,Rd} = 155.5$ kN

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

Verstärkung des Stegs durch Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: $c/t = 5.4 \cdot \epsilon \leq 33 \cdot \epsilon \Rightarrow$ Q-Klasse $1 \leq 2$ **ok**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfelds (Abstand der Steifen) $a = 172.0$ mm

Steghöhe zwischen den Flanschen $h_{wc} = 164.0$ mm

Trägheitsmoment der Steifen $I_{st} = 50.24$ cm⁴

Mindestträgheitsmoment für $a/h_{wc} = 1.05 < 2^{1/2}$: $I_{st,min} = 3.33$ cm⁴ $< I_{st}$ **ok**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen $I_T = 0.73$ cm⁴

polares Trägheitsmoment der Steifen $I_p = 5.43$ cm⁴

$I_T / I_p \approx 0.135 > 0.006 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st}$ **ok**

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

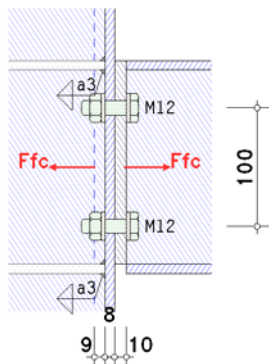
Fläche der Steifen einschl. Steg $A_{st} = 7.28$ cm²

Schlankheitsgrad $\lambda = 0.066$

$\lambda \leq 0.2 \Rightarrow$ keine Abminderung ($\chi = 1.0$)

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken $F_{c,w,Rd} = 155.5$ kN

3.1.3.3. Gk 4: Stützenflansch mit Biegung



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

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 1

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 87.0$ mm, $l_{eff,cp} = 95.2$ mm

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 87.0$ mm

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.33 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 123.51 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 73.14 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 73.14 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 87.0 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 95.2 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 87.0 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.33 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 123.51 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 73.14 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 73.14 \text{ kN}$

Tragfähigkeiten und effektive Längen eines Stützenflanschs mit Biegung (je Schraubenreihe)

$F_{t,fc,Rd,1} = 73.14 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 87.0 \text{ mm}$

$F_{t,fc,Rd,2} = 73.14 \text{ kN}$, $l_{eff,2} = 87.0 \text{ mm}$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 2$ (zwischen den Steifen)

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 187.7 \text{ mm}$, $\Sigma l_{eff,cp} = 295.2 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 187.7 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.71 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 194.23 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 266.59 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 149.31 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 194.23 \text{ kN}$

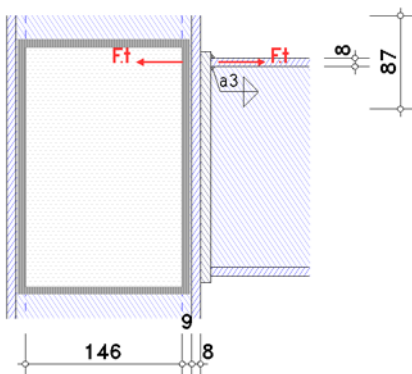
Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 149.31 \text{ kN}$

Tragfähigkeiten und effektive Längen eines Stützenflanschs mit Biegung (je Schraubengruppe):

$F_{ep,Rd,1-2} = 149.31 \text{ kN}$, $\Sigma l_{eff} = 187.7 \text{ mm}$, 2 Reihen

3.1.3.4. Gk 3: Stützensteg mit Querzugbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9)) $\beta_j = |1 - M_{j2}/M_{j1}| = 2.00$ für $M_{j1} = -5.40 \text{ kNm}$, $M_{j2} = 9.86 \text{ kNm}$



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

Für jede einzelne Schraubenreihe:

Reihe 1

wirksame Breite $b_{eff,t} = 87.0 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Verstärkung des Stützenstegs durch 1 Stegblech:

Kehlnaht mit $a_s \geq t_s/2^{1/2} = 4.9 \text{ mm}$: wirksame Stegdicke $t_{w,eff} = t_{wc} + 0.4 \cdot t_s = 7.4 \text{ mm}$ für S235

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 2 \Rightarrow \omega = 0.790$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querzug

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 119.9 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Breite $b_{eff,t} = 87.0 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Verstärkung des Stützenstegs durch 1 Stegblech:

Kehlnaht mit $a_s \geq t_s/2^{1/2} = 4.9 \text{ mm}$: wirksame Stegdicke $t_{w,eff} = t_{wc} + 0.4 \cdot t_s = 7.4 \text{ mm}$ für S235

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 2 \Rightarrow \omega = 0.790$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkraft

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 119.9 \text{ kN}$$

Gruppe von Schraubenreihen, Gruppe 1:

wirksame Breite $b_{eff,t} = 187.7 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Verstärkung des Stützenstegs durch 1 Stegblech:

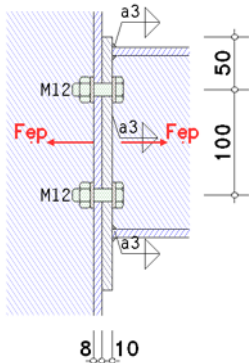
Kehlnaht mit $a_s \geq t_s/2^{1/2} = 4.9 \text{ mm}$: wirksame Stegdicke $t_{w,eff} = t_{wc} + 0.4 \cdot t_s = 7.4 \text{ mm}$ für S235

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 2 \Rightarrow \omega = 0.513$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkraft

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 168.0 \text{ kN}$$

3.1.3.5. Gk 5: Stirnblech mit Biegung



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

Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 1

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 102.8 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 119.1 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 102.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,t}^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.60 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 170.45 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 80.87 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 80.87 \text{ kN}$

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

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 157.04 \text{ kN}$ ($\geq 80.87 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 102.8 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 119.1 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 102.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,t}^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.60 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 170.45 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 80.87 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 80.87 \text{ kN}$

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

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 157.04 \text{ kN}$ ($\geq 80.87 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

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

$F_{ep,Rd,1} = 80.87 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 102.8 \text{ mm}$

$F_{ep,Rd,2} = 80.87 \text{ kN}$, $l_{eff,2} = 102.8 \text{ mm}$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 2$

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 204.8 \text{ mm}$, $\Sigma l_{eff,cp} = 319.1 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 204.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 1.20 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 194.23 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 339.54 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 161.49 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 194.23 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 161.49 \text{ kN}$

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

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 312.83 \text{ kN}$ ($\geq 161.49 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

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

$F_{c,Rd,1-2} = 161.49 \text{ kN}$, $\Sigma l_{eff} = 204.8 \text{ mm}$, 2 Reihen

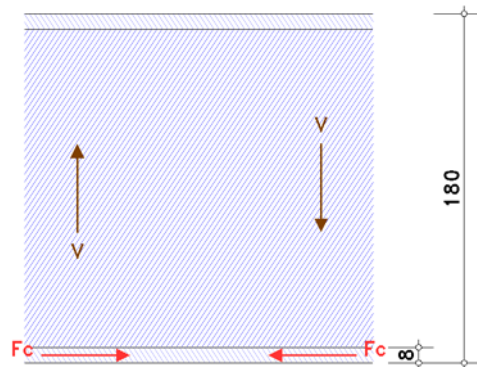
3.1.3.6. Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

Flansch unten: Querschnittsklasse für $c/(\varepsilon \cdot t) = 4.23: 1$

Steg: Querschnittsklasse für $\alpha = 0.49$ und $c/(\varepsilon \cdot t) = 27.55: 1$

Querschnittsklasse des Trägers: 1

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion $V_{Ed} = 1.6 \text{ kN}$



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

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 1.6 \text{ kN} \leq 76.3 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 39.01 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 166.00 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 226.80 \text{ kN}$

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

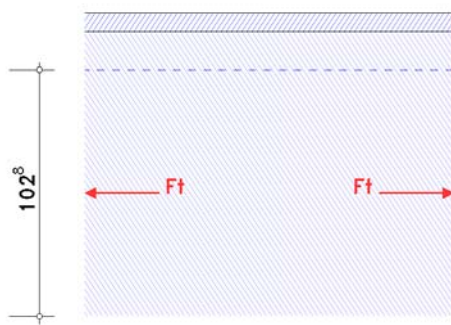
Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 1.6 \text{ kN} \leq 76.3 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 39.01 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 166.00 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 226.80 \text{ kN}$

3.1.3.7. 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 1

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 102.8 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 128.1 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 102.8 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 128.1 \text{ kN}$

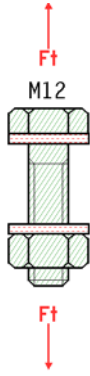
Gruppe von Schraubenreihen, Gruppe 1:

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 204.8 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 255.1 \text{ kN}$$

3.1.3.8. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



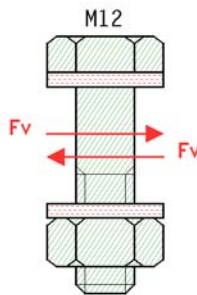
In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Zugtragfähigkeit einer Schraube $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 48.56 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$

Durchstantragfähigkeit $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 99.69 \text{ kN}$, $t_p = 8.0 \text{ mm}$

Zug-/Durchstantragfähigkeit für 2 Schrauben: $\Sigma F_{tp,Rd} = 2 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 97.11 \text{ kN}$

3.1.3.9. Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung

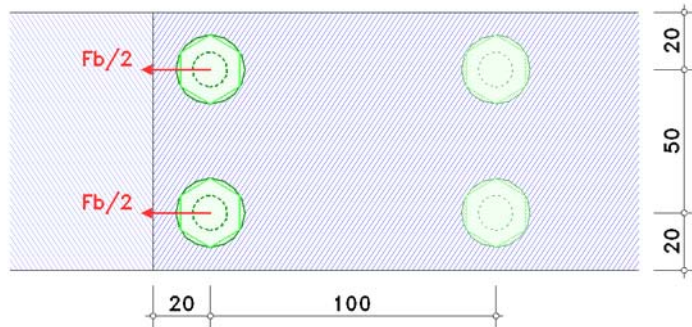


In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Abschertragfähigkeit je Scherfuge $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 43.43 \text{ kN}$, $\alpha_v = 0.60$

Abschertragfähigkeit für 2 Schrauben (1-schnittig): $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 86.86 \text{ kN}$

3.1.3.10. Gk 12: Blech mit Lochleibungsbeanspruchung



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

Reihe 1

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 86.40 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 86.40 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 172.80 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.12 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.12 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 138.24 \text{ kN}$

Reihe 2

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 86.40 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 86.40 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 172.80 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.12 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.12 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 138.24 \text{ kN}$

Reihe 3

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 86.40 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 86.40 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 172.80 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.12 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.12 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 138.24 \text{ kN}$

Lochleibungstragfähigkeiten (3 Reihen)

$\Sigma F_{b,Rd,1} = 138.24 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,2} = 138.24 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,3} = 138.24 \text{ kN}$

3.1.4. Anschlusstragfähigkeit

3.1.4.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 136.0 \text{ mm}$, $h_2 = 36.0 \text{ mm}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (MNV-Interaktion)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 73.1 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 48.6 \text{ kN}$

Tragfähigkeit der Flansche (MNV-Interaktion)

unten: $F_{c,Rd} = 119.8 \text{ kN}$

Biegetragfähigkeit (MNV-Interaktion)

$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 11.7 \text{ kNm}$

Querkrafttragfähigkeit (MNV-Interaktion)

$V_{j,Rd} = 3.4 \text{ kN}$

3.1.4.2. Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

Stirnblech: $V_{ep,Rd} = 198.09 \text{ kN}$

Schweißnähte: $F_{w,Rd} = 182.07 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs: $V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 182.07 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

$V_{wp,Rd}/\beta_j = 119.8 \text{ kN}$

3.1.4.3. Gesamt

$V_{wp,Rd}/\beta_j = 119.8 \text{ kN}$ $V_{ep,Rd} = 182.1 \text{ kN}$

3.1.5. Nachweise

3.1.5.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

$U_{MNV} = 0.456 < 1$ **ok**

$V_{c,w,Ed}/(V_{wp,Rd}/\beta_j) = 0.982 < 1$ **ok**

$V_{Ed}/V_{ep,Rd} = 0.009 < 1$ **ok**

3.1.5.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

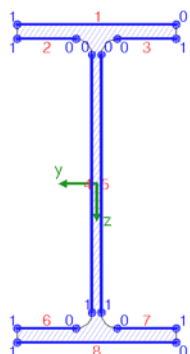
Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig

Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:	$a_w = 3.0 \text{ mm}$	$l_w = 90.0 \text{ mm}$
Naht 2:	$a_w = 3.0 \text{ mm}$	$l_w = 33.4 \text{ mm}$
Naht 3:	siehe Naht 2	
Naht 4:	$a_w = 3.0 \text{ mm}$	$l_w = 146.0 \text{ mm}$
Naht 5:	siehe Naht 4	
Naht 6:	$a_w = 3.0 \text{ mm}$	$l_w = 33.4 \text{ mm}$
Naht 7:	siehe Naht 6	
Naht 8:	$a_w = 3.0 \text{ mm}$	$l_w = 90.0 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$N_{Ed} = 0.88 \text{ kN}$, $M_{y,Ed} = -5.26 \text{ kNm}$, $V_{z,Ed} = 1.57 \text{ kN}$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$$\Sigma A_w = 18.16 \text{ cm}^2, A_{w,z} = 8.76 \text{ cm}^2, \Sigma I_w = 60.5 \text{ cm}^4$$

$$I_{w,y} = 862.10 \text{ cm}^4, I_{w,z} = 72.88 \text{ cm}^4, W_{w,t} = 14.27 \text{ cm}^3, \Delta z_w = 0.0 \text{ mm}$$

Schnittgrößenverteilung:

Naht 1: $N_w = 14.96 \text{ kN}$

Naht 2: $N_w = 5.05 \text{ kN}$

Naht 3: siehe Naht 2

Naht 4: $N_w = 0.21 \text{ kN}$ $M_{y,w} = -0.47 \text{ kNm}$

Naht 5: siehe Naht 4

Naht 6: $N_w = -4.96 \text{ kN}$

Naht 7: siehe Naht 6

Naht 8: $N_w = -14.70 \text{ kN}$

aus konventioneller Querkraftaufteilung: $V_{z,w} = 1.57 \text{ kN}$

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

Naht 1, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 55.40 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.218 < 1$ **ok**

Naht 2, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 50.52 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.198 < 1$ **ok**

Naht 4, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 45.03 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 1.79 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.177 < 1$ **ok**

Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -44.06 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 1.79 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.173 < 1$ **ok**

Naht 6, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -49.56 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.195 < 1$ **ok**

Naht 8, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -54.44 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.214 < 1$ **ok**

Ergebnis:

Naht 1, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 55.40 \text{ N/mm}^2$

Max: $\sigma_{1,w,Ed} = 7.84 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2$,

$\sigma_{2,w,Ed} = 3.92 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U_w = 0.218 < 1$ **ok**

3.1.5.3. Nachweis der Stegsteifen

Drucksteife

$F_{c,Ed} = 45.50 \text{ kN}$

Kräfte je Rippe

$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 16.9 \text{ kN}$, $H = F \cdot e_F / e_H = 2.9 \text{ kN}$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: $c/t = 5.4 \cdot \varepsilon \leq 33 \cdot \varepsilon \Rightarrow$ Q-Klasse 1 ≤ 2 **ok**

Querschnitt am Flansch

Drucktragfähigkeit $N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 55.18 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 17.7 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 17.7 \text{ kN} < F_{Rd} = 55.2 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.320 < 1$ **ok**

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = 178.01 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 16.9 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 16.9 \text{ kN} < F_{Rd} = 178.0 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.095 < 1$ **ok**

Schweißnähte am Flansch

Bemessungsgrößen: $F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 2.88 \text{ kN/cm}$, $F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 0.50 \text{ kN/cm}$, $b_1 = 29.4 \text{ mm}$

$\sigma_{1,w,Ed} = 10.03 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.279 < 1$ **ok**

$\sigma_{2,w,Ed} = 9.61 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.371 < 1$ **ok**

Schweißnähte am Steg

Bemessungsgröße: $F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 0.62 \text{ kN/cm}$, $l_1 = 137.0 \text{ mm}$

$\sigma_{1,w,Ed} = 3.57 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.099 < 1$ **ok**

Zugsteife

$F_{t,Ed} = 46.37 \text{ kN}$

Kräfte je Rippe

$F = 0.5 \cdot F_{t,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 17.2 \text{ kN}$, $H = F \cdot e_F / e_H = 3.0 \text{ kN}$

Querschnitt am Flansch

Zugtragfähigkeit $N_{t,Rd} = 55.18 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 18.0 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 18.0 \text{ kN} < F_{Rd} = 55.2 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.326 < 1$ **ok**

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = 178.01 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 17.2 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 17.2 \text{ kN} < F_{Rd} = 178.0 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.097 < 1$ **ok**

Schweißnähte am Flansch

Bemessungsgrößen: $F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 2.94 \text{ kN/cm}$, $F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 0.50 \text{ kN/cm}$, $b_1 = 29.4 \text{ mm}$

$\sigma_{1,w,Ed} = 10.22 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.284 < 1$ **ok**

$\sigma_{2,w,Ed} = 9.80 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.378 < 1$ **ok**

Schweißnähte am Steg

Bemessungsgröße: $F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 0.63 \text{ kN/cm}$, $l_1 = 137.0 \text{ mm}$

$\sigma_{1,w,Ed} = 3.63 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.101 < 1$ **ok**

3.1.5.4. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.982 < 1$ **ok**

3.1.6. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 2 Zug-Schraubenreihen:

1: $k_3 = 3.09 \text{ mm}$, $k_4 = 11.52 \text{ mm}$, $k_5 = 13.59 \text{ mm}$, $k_{10} = 4.12 \text{ mm} \Rightarrow k_{\text{eff},1} = 1 / \sum(1/k_{i,1}) = 1.377 \text{ mm}$

2: $k_3 = 3.09 \text{ mm}$, $k_4 = 11.52 \text{ mm}$, $k_5 = 13.59 \text{ mm}$, $k_{10} = 4.12 \text{ mm} \Rightarrow k_{\text{eff},2} = 1 / \sum(1/k_{i,2}) = 1.377 \text{ mm}$

$k_{\text{eq}} = \sum(k_{\text{eff},r} \cdot h_r) / z_{\text{eq}} = 2.058 \text{ mm}$, $z_{\text{eq}} = \sum(k_{\text{eff},r} \cdot h_r^2) / \sum(k_{\text{eff},r} \cdot h_r) = 115.1 \text{ mm}$

$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 3.14 \text{ mm}$

$k_2 = \infty$ (ausgesteift)

Rotationssteifigkeit

Anfangsrotationssteifigkeit: $S_{j,\text{ini}} = (E \cdot z^2) / \sum(1/k_i) = 3454.4 \text{ kNm/rad}$, $z = z_{\text{eq}} = 115.1 \text{ mm}$, $\sum(1/k_i) = 0.805 \text{ mm}^{-1}$

$|N_{b,\text{Ed}}| = 0.88 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pI,\text{Rd}} = 28.14 \text{ kN}$ **ok**

Rotationssteifigkeit: $S_{j,\text{Rd}} = S_{j,\text{ini}} / \mu = 3454.4 \text{ kNm/rad}$, $\mu = 1$

Verdrehung: $\varphi_{j,\text{Ed}} = M_{j,\text{Ed}} / S_{j,\text{Rd}} = 0.089^\circ$

3.2. Anschluss links

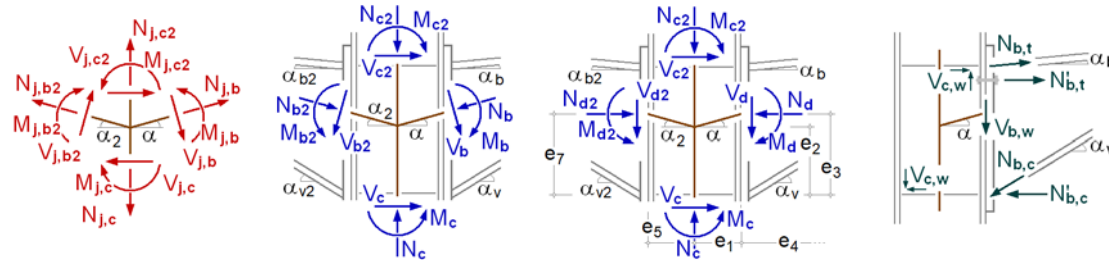
Hinweise

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

3.2.1. Bemessungsgrößen

Knotenschnittgrößen Anschnitt Anschluss $\perp$ zur Anschlussebene

Teilschnittgrößen



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

Abstände: $e_1 = 90.0 \text{ mm}$, $e_3 = 86.0 \text{ mm}$, $e_2 = 86.0 \text{ mm}$, $e_5 = 90.0 \text{ mm}$, $e_7 = 86.0 \text{ mm}$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger (rechts)

$N_d = 7.31 \text{ kN}$, $M_d = 9.31 \text{ kNm}$, $V_d = 6.05 \text{ kN}$

Anschnitt Träger (links)

$N_{d2} = -0.88 \text{ kN}$, $M_{d2} = -5.26 \text{ kNm}$, $V_{d2} = 1.57 \text{ kN}$

Anschnitt Stütze (unten)

$N_c = 7.09 \text{ kN}$, $M_c = 9.87 \text{ kNm}$, $V_c = -13.65 \text{ kN}$

Anschnitt Stütze (oben)

$N_{c2} = 2.61 \text{ kN}$, $M_{c2} = -3.75 \text{ kNm}$, $V_{c2} = -5.46 \text{ kN}$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_d \cdot t_{\text{ep}} = 9.27 \text{ kNm}$

$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu} / z_b + M'_d / z_b = 50.22 \text{ kN}$, $z_b = 172.0 \text{ mm}$, $z_{bu} = 86.0 \text{ mm}$

$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo} / z_b + M'_d / z_b = 57.53 \text{ kN}$, $z_b = 172.0 \text{ mm}$, $z_{bo} = 86.0 \text{ mm}$

3.2.2. Querschnittstragfähigkeit

Stütze unten

plastischer Querschnittsnachweis für $N = -7.09 \text{ kN}$, $M_y = -9.87 \text{ kNm}$, $V_z = -13.65 \text{ kN}$

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

Obergurt: Grenznormalkräfte $N_{\text{max},O} = 171.08 \text{ kN}$, $N_{\text{min},O} = -171.08 \text{ kN}$

Untergurt: Grenznormalkräfte $N_{\text{max},U} = 171.08 \text{ kN}$, $N_{\text{min},U} = -171.08 \text{ kN}$

Steg: Querkraft $V_s = -13.65 \text{ kN}$, Schubspannung $\tau_s = 1.50 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U_{\tau,s} = 0.110$

Grenznormalkräfte $N_{\text{max},s} = 212.92 \text{ kN}$, $N_{\text{min},s} = -212.92 \text{ kN}$

Hauptbieg.: Normalkraft $N = -7.09 \text{ kN}$, Grenznormalkräfte $N_{\text{max}} = 555.08 \text{ kN}$, $N_{\text{min}} = -555.08 \text{ kN} \Rightarrow U_N = 0.013$

Moment $M_y = -9.87 \text{ kNm}$, Grenzmomente $M_{y,\text{max}} = 38.57 \text{ kNm}$, $M_{y,\text{min}} = -38.57 \text{ kNm} \Rightarrow U_{M_y} = 0.256$

Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): $\max U = 0.263 < 1$ **ok**

Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_\sigma = 0.263 < 1$ **ok**, c/t-Verhältnis $U_{c/t} = 0.164 < 1$ **ok**

Stütze oben

plastischer Querschnittsnachweis für $N = -2.61 \text{ kN}$, $M_y = 3.75 \text{ kNm}$, $V_z = -5.46 \text{ kN}$

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

Obergurt: Grenznormalkräfte $N_{\text{max},O} = 171.08 \text{ kN}$, $N_{\text{min},O} = -171.08 \text{ kN}$

Untergurt: Grenznormalkräfte $N_{\text{max},U} = 171.08 \text{ kN}$, $N_{\text{min},U} = -171.08 \text{ kN}$

Steg: Querkraft $V_s = -5.46$ kN, Schubspannung $\tau_s = 0.60$ kN/cm² $\Rightarrow U_{\tau,s} = 0.044$

Grenznormalkräfte $N_{\max,s} = 214.02$ kN, $N_{\min,s} = -214.02$ kN

Hauptbieg.: Normalkraft $N = -2.61$ kN, Grenznormalkräfte $N_{\max} = 556.18$ kN, $N_{\min} = -556.18$ kN $\Rightarrow U_N = 0.005$

Moment $M_y = 3.75$ kNm, Grenzmomente $M_{y,\max} = 38.63$ kNm, $M_{y,\min} = -38.63$ kNm $\Rightarrow U_{M_y} = 0.097$

Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): $\max U = 0.100 < 1$ **ok**

Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_\sigma = 0.100 < 1$ **ok**, c/t-Verhältnis $U_{c/t} = 0.101 < 1$ **ok**

Träger

plastischer Querschnittsnachweis für $N = -7.31$ kN, $M_y = -9.27$ kNm, $V_z = 6.05$ kN

zul. Normal-/Schubspannung: zul $\sigma_{Rd} = 23.50$ kN/cm², zul $\tau_{Rd} = 13.57$ kN/cm²

Obergurt: Grenznormalkräfte $N_{\max,o} = 171.08$ kN, $N_{\min,o} = -171.08$ kN

Untergurt: Grenznormalkräfte $N_{\max,u} = 171.08$ kN, $N_{\min,u} = -171.08$ kN

Steg: Querkraft $V_s = 6.05$ kN, Schubspannung $\tau_s = 0.66$ kN/cm² $\Rightarrow U_{\tau,s} = 0.049$

Grenznormalkräfte $N_{\max,s} = 213.97$ kN, $N_{\min,s} = -213.97$ kN

Hauptbieg.: Normalkraft $N = -7.31$ kN, Grenznormalkräfte $N_{\max} = 556.13$ kN, $N_{\min} = -556.13$ kN $\Rightarrow U_N = 0.013$

Moment $M_y = -9.27$ kNm, Grenzmomente $M_{y,\max} = 38.62$ kNm, $M_{y,\min} = -38.62$ kNm $\Rightarrow U_{M_y} = 0.240$

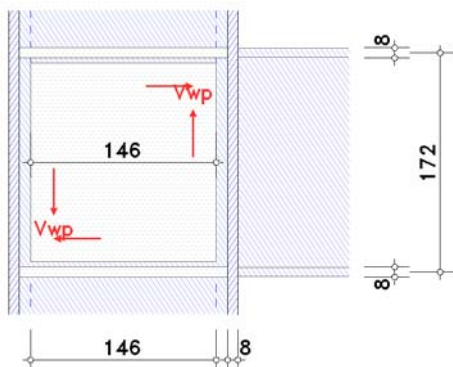
Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): $\max U = 0.243 < 1$ **ok**

Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_\sigma = 0.243 < 1$ **ok**, c/t-Verhältnis $U_{c/t} = 0.160 < 1$ **ok**

3.2.3. Grundkomponenten

3.2.3.1. Gk 1: Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9)) $\beta_j = |1 - M_{j2}/M_{j1}| = 1.55$ für $M_{j1} = 9.86$ kNm, $M_{j2} = -5.40$ kNm



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

Stegdicke einschl. Verstärkung $t_{wc} = 10.6$ mm

Schlankheit des Stützenstegs $d_c/t_{wc} = 13.77 < 69 \cdot \epsilon = 69.00 \Rightarrow$ Verfahren anwendbar

Schubfläche mit Verstärkung $A_v = 18.99$ cm²

plastische Schubtragfähigkeit ohne Steifen $V_{wp,Rd} = (0.9 \cdot f_{y,w} \cdot A_v) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 231.9$ kN

Anordnung von zwischenliegenden Stegsteifen:

zusätzliche Tragfähigkeit $V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd}/d_{st} = 8.0$ kN

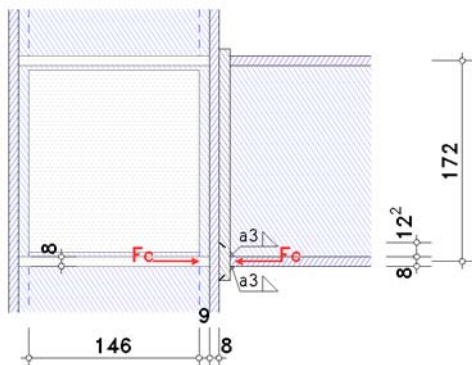
$V_{wp,add,Rd} > 2 \cdot (M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,st,Rd})/d_{st} = 7.7$ kN $\Rightarrow V_{wp,add,Rd} = 7.7$ kN

plastische Schubtragfähigkeit mit Quersteifen $V_{wp,Rd} = 239.6$ kN

3.2.3.2. Gk 2: Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9)) $\beta_j = |1 - M_{j2}/M_{j1}| = 1.55$ für $M_{j1} = 9.86$ kNm, $M_{j2} = -5.40$ kNm

Längsdruckspannung im Stützensteg $\sigma_{com,Ed} = 57.65$ N/mm²



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

Verstärkung des Stegs durch Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: $c/t = 5.4 \cdot \epsilon \leq 33 \cdot \epsilon \Rightarrow$ Q-Klasse $1 \leq 2$ **ok**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfelds (Abstand der Steifen) $a = 172.0$ mm

Steghöhe zwischen den Flanschen $h_{wc} = 164.0$ mm

Trägheitsmoment der Steifen $I_{st} = 50.24$ cm⁴

Mindestträgheitsmoment für $a/h_{wc} = 1.05 < 2^{1/2}$: $I_{st,min} = 3.33$ cm⁴ $< I_{st}$ **ok**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen $I_T = 0.73$ cm⁴

polares Trägheitsmoment der Steifen $I_p = 5.43$ cm⁴

$$I_T / I_p \approx 0.135 > 0.006 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st} \quad \text{ok}$$

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung:

Fläche der Steifen einschl. Steg $A_{st} = 7.28 \text{ cm}^2$

Schlankheitsgrad $\lambda = 0.066$

$\lambda \leq 0.2 \Rightarrow$ keine Abminderung ($\chi = 1.0$)

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken $F_{c,w,Rd} = 155.5 \text{ kN}$

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

Verstärkung des Stegs durch Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: $c/t = 5.4 \cdot \varepsilon \leq 33 \cdot \varepsilon \Rightarrow$ Q-Klasse 1 ≤ 2 ok

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfelds (Abstand der Steifen) $a = 172.0 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen $h_{wc} = 164.0 \text{ mm}$

Trägheitsmoment der Steifen $I_{st} = 50.24 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für $a/h_{wc} = 1.05 < 2^{1/2}$: $I_{st,min} = 3.33 \text{ cm}^4 < I_{st}$ ok

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen $I_T = 0.73 \text{ cm}^4$

polares Trägheitsmoment der Steifen $I_p = 5.43 \text{ cm}^4$

$$I_T / I_p \approx 0.135 > 0.006 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st} \quad \text{ok}$$

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung:

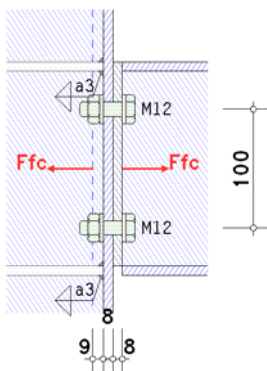
Fläche der Steifen einschl. Steg $A_{st} = 7.28 \text{ cm}^2$

Schlankheitsgrad $\lambda = 0.066$

$\lambda \leq 0.2 \Rightarrow$ keine Abminderung ($\chi = 1.0$)

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken $F_{c,w,Rd} = 155.5 \text{ kN}$

3.2.3.3. Gk 4: Stützenflansch mit Biegung



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

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 1

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 87.0 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 95.2 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 87.0 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.33 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 123.51 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 73.14 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 73.14 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 87.0 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 95.2 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 87.0 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.33 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 123.51 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 73.14 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 73.14 \text{ kN}$

Tragfähigkeiten und effektive Längen eines Stützenflanschs mit Biegung (je Schraubenreihe)

$F_{t,fc,Rd,1} = 73.14 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 87.0 \text{ mm}$

$$F_{t,fc,Rd,2} = 73.14 \text{ kN}, \quad l_{eff,2} = 87.0 \text{ mm}$$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 2$ (zwischen den Steifen)

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

$$\text{für Modus 1: } \Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 187.7 \text{ mm}, \quad \Sigma l_{eff,cp} = 295.2 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 2: } \Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 187.7 \text{ mm}$$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

$$\text{für Modus 1+2: } M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.71 \text{ kNm}$$

$$\text{für Modus 3: } \Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 194.23 \text{ kN}$$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 266.59 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 149.31 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 194.23 \text{ kN}$$

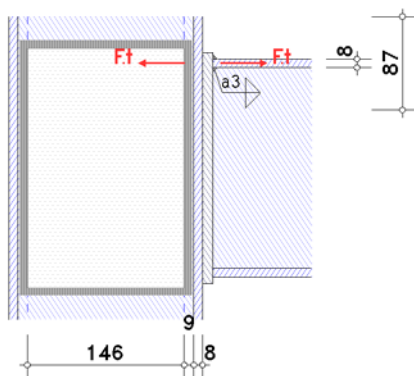
$$\text{Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: } F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 149.31 \text{ kN}$$

Tragfähigkeiten und effektive Längen eines Stützenflanschs mit Biegung (je Schraubengruppe):

$$F_{ep,Rd,1-2} = 149.31 \text{ kN}, \quad \Sigma l_{eff} = 187.7 \text{ mm}, \quad 2 \text{ Reihen}$$

3.2.3.4. Gk 3: Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9)) $\beta_j = |1 - M_{j2}/M_{j1}| = 1.55$ für $M_{j1} = 9.86 \text{ kNm}$, $M_{j2} = -5.40 \text{ kNm}$



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

Für jede einzelne Schraubenreihe:

Reihe 1

wirksame Breite $b_{eff,t} = 87.0 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Verstärkung des Stützenstegs durch 1 Stegblech:

Kehlnaht mit $a_s \geq t_s/2^{1/2} = 4.9 \text{ mm}$: wirksame Stegdicke $t_{w,eff} = t_{wc} + 0.4 \cdot t_s = 7.4 \text{ mm}$ für S235

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $1 < \beta < 2 \Rightarrow \omega = 0.855$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 129.6 \text{ kN}$$

Reihe 2

wirksame Breite $b_{eff,t} = 87.0 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Verstärkung des Stützenstegs durch 1 Stegblech:

Kehlnaht mit $a_s \geq t_s/2^{1/2} = 4.9 \text{ mm}$: wirksame Stegdicke $t_{w,eff} = t_{wc} + 0.4 \cdot t_s = 7.4 \text{ mm}$ für S235

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $1 < \beta < 2 \Rightarrow \omega = 0.855$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 129.6 \text{ kN}$$

Gruppe von Schraubenreihen, Gruppe 1:

wirksame Breite $b_{eff,t} = 187.7 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Verstärkung des Stützenstegs durch 1 Stegblech:

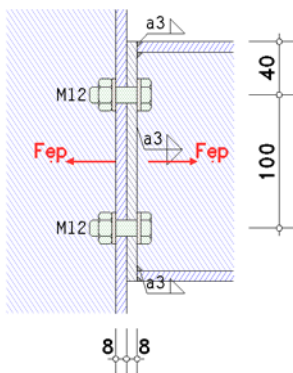
Kehlnaht mit $a_s \geq t_s/2^{1/2} = 4.9 \text{ mm}$: wirksame Stegdicke $t_{w,eff} = t_{wc} + 0.4 \cdot t_s = 7.4 \text{ mm}$ für S235

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $1 < \beta < 2 \Rightarrow \omega = 0.628$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 205.5 \text{ kN}$$

3.2.3.5. Gk 5: Stirnblech mit Biegung



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

Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 1

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 102.8 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 119.1 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 102.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.39 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 109.09 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 69.71 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 69.71 \text{ kN}$

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

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 157.04 \text{ kN}$ ($\geq 69.71 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 102.8 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 119.1 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 102.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.39 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 109.09 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 69.71 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 97.11 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 69.71 \text{ kN}$

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

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 157.04 \text{ kN}$ ($\geq 69.71 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

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

$F_{ep,Rd,1} = 69.71 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 102.8 \text{ mm}$

$F_{ep,Rd,2} = 69.71 \text{ kN}$, $l_{eff,2} = 102.8 \text{ mm}$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 2$

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 204.8 \text{ mm}$, $\Sigma l_{eff,cp} = 319.1 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 204.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.77 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 194.23 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 217.30 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 139.25 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 194.23 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 139.25 \text{ kN}$

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

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 312.83 \text{ kN}$ ($\geq 139.25 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

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

$F_{ep,Rd,1-2} = 139.25 \text{ kN}$, $\Sigma l_{eff} = 204.8 \text{ mm}$, 2 Reihen

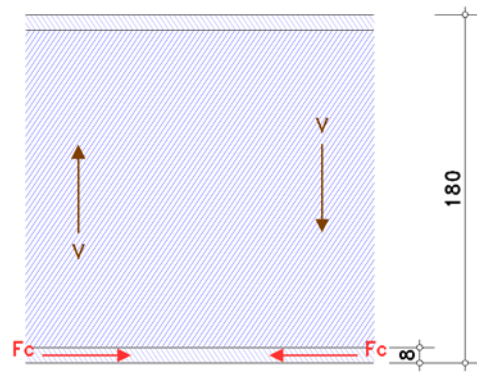
3.2.3.6. Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

Flansch unten: Querschnittsklasse für $c/(\varepsilon \cdot t) = 4.23: 1$

Steg: Querschnittsklasse für $\alpha = 0.53$ und $c/(\varepsilon \cdot t) = 27.55: 1$

Querschnittsklasse des Trägers: 1

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion $V_{Ed} = 6.1 \text{ kN}$



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

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 6.1 \text{ kN} \leq 76.3 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 39.01 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 166.00 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 226.80 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

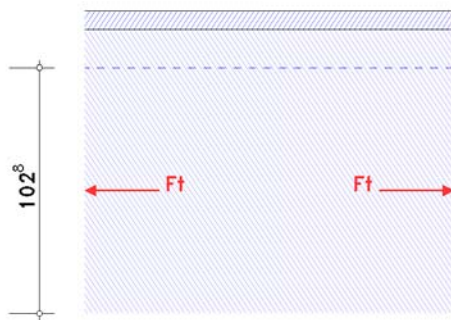
Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 6.1 \text{ kN} \leq 76.3 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 39.01 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 166.00 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 226.80 \text{ kN}$$

3.2.3.7. 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 1

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 102.8 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 128.1 \text{ kN}$$

Reihe 2

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 102.8 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 128.1 \text{ kN}$$

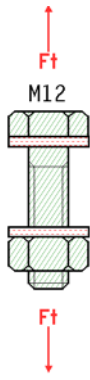
Gruppe von Schraubenreihen, Gruppe 1:

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 204.8 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 255.1 \text{ kN}$$

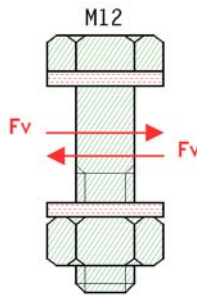
3.2.3.8. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



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

Zugtragfähigkeit einer Schraube $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 48.56 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$
 Durchstantragfähigkeit $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 99.69 \text{ kN}$, $t_p = 8.0 \text{ mm}$
 Zug-/Durchstantragfähigkeit für 2 Schrauben: $\Sigma F_{tp,Rd} = 2 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 97.11 \text{ kN}$

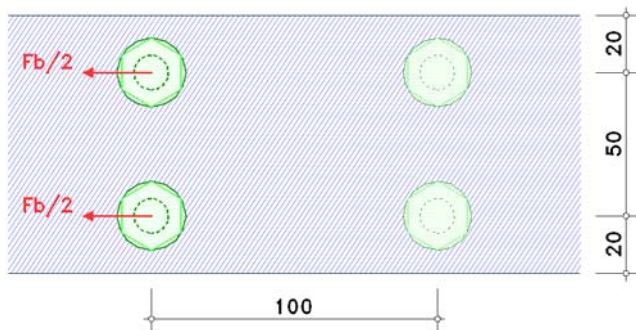
3.2.3.9. Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung



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

Abschertragfähigkeit je Scherfuge $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 43.43 \text{ kN}$, $\alpha_v = 0.60$
 Abschertragfähigkeit für 2 Schrauben (1-schnittig): $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 86.86 \text{ kN}$

3.2.3.10. Gk 12: Blech mit Lochleibungsbeanspruchung



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

Reihe 1

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.12 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.12 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 138.24 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.12 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.12 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 138.24 \text{ kN}$

Reihe 2

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.12 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.12 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 138.24 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.12 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.12 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 1.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 138.24 \text{ kN}$

Lochleibungstragfähigkeiten (2 Reihen)

$\Sigma F_{b,Rd,1} = 138.24 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,2} = 138.24 \text{ kN}$

3.2.4. Anschlusstragfähigkeit

3.2.4.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 136.0 \text{ mm}$, $h_2 = 36.0 \text{ mm}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (MNV-Interaktion)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 69.7 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 69.5 \text{ kN}$

Tragfähigkeit der Flansche (MNV-Interaktion)

unten: $F_{c,Rd} = 149.3 \text{ kN}$

Biegetragfähigkeit (MNV-Interaktion)

$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 12.0 \text{ kNm}$

Querkrafttragfähigkeit (MNV-Interaktion)

$V_{j,Rd} = 8.3 \text{ kN}$

3.2.4.2. Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

Stirnblech: $V_{ep,Rd} = 158.47 \text{ kN}$

Schweißnähte: $F_{w,Rd} = 182.07 \text{ kN}$ ($\geq 158.47 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

$V_{wp,Rd}/\beta_j = 154.8 \text{ kN}$

3.2.4.3. Gesamt

$V_{wp,Rd}/\beta_j = 154.8 \text{ kN}$ $V_{ep,Rd} = 158.5 \text{ kN}$

3.2.5. Nachweise

3.2.5.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

$U_{MNV} = 0.725 < 1$ **ok**

$V_{c,w,Ed}/(V_{wp,Rd}/\beta_j) = 0.760 < 1$ **ok**

$V_{Ed}/V_{ep,Rd} = 0.038 < 1$ **ok**

3.2.5.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

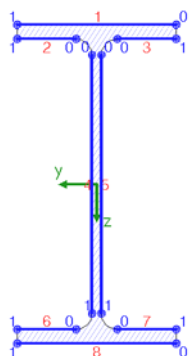
Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:	$a_w = 3.0 \text{ mm}$	$l_w = 90.0 \text{ mm}$
Naht 2:	$a_w = 3.0 \text{ mm}$	$l_w = 33.4 \text{ mm}$
Naht 3:	siehe Naht 2	
Naht 4:	$a_w = 3.0 \text{ mm}$	$l_w = 146.0 \text{ mm}$
Naht 5:	siehe Naht 4	
Naht 6:	$a_w = 3.0 \text{ mm}$	$l_w = 33.4 \text{ mm}$
Naht 7:	siehe Naht 6	
Naht 8:	$a_w = 3.0 \text{ mm}$	$l_w = 90.0 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$N_{Ed} = -7.31 \text{ kN}$, $M_{y,Ed} = -9.31 \text{ kNm}$, $V_{z,Ed} = 6.05 \text{ kN}$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$\Sigma A_w = 18.16 \text{ cm}^2$, $A_{w,z} = 8.76 \text{ cm}^2$, $\Sigma l_w = 60.5 \text{ cm}$

$I_{w,y} = 862.10 \text{ cm}^4$, $I_{w,z} = 72.88 \text{ cm}^4$, $W_{w,t} = 14.27 \text{ cm}^3$, $\Delta z_w = 0.0 \text{ mm}$

Schnittgrößenverteilung:

Naht 1: $N_w = 25.17 \text{ kN}$

Naht 2: $N_w = 8.46 \text{ kN}$

Naht 3: siehe Naht 2

Naht 4: $N_w = -1.76 \text{ kN}$ $M_{y,w} = -0.84 \text{ kNm}$

Naht 5: siehe Naht 4

Naht 6: $N_w = -9.27 \text{ kN}$

Naht 7: siehe Naht 6

Naht 8: $N_w = -27.34 \text{ kN}$

aus konventioneller Querkraftaufteilung: $V_{z,w} = 6.05 \text{ kN}$

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

Naht 1,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 93.21 \text{ N/mm}^2$		$\Rightarrow U_w = 0.366 < 1$	ok
Naht 2,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 84.57 \text{ N/mm}^2$		$\Rightarrow U_w = 0.332 < 1$	ok
Naht 4,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 74.84 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 6.91 \text{ N/mm}^2$	$\Rightarrow U_w = 0.296 < 1$	ok
	Pkt. 1:	$\sigma_{w,x} = -82.90 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 6.91 \text{ N/mm}^2$	$\Rightarrow U_w = 0.327 < 1$	ok
Naht 6,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -92.62 \text{ N/mm}^2$		$\Rightarrow U_w = 0.364 < 1$	ok
Naht 8,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -101.26 \text{ N/mm}^2$		$\Rightarrow U_w = 0.398 < 1$	ok

Ergebnis:

Naht 8,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -101.26 \text{ N/mm}^2$			
	Max:	$\sigma_{1,w,Ed} = 14.32 \text{ kN/cm}^2$	$< f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2$,		
		$\sigma_{2,w,Ed} = 7.16 \text{ kN/cm}^2$	$< f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2$	$\Rightarrow U_w = 0.398 < 1$	ok

3.2.5.3. Nachweis der Stegsteifen

Drucksteife

$$F_{c,Ed} = 82.79 \text{ kN}$$

Kräfte je Rippe

$$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 30.8 \text{ kN}, \quad H = F \cdot e_F / e_H = 5.3 \text{ kN}$$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: $c/t = 5.4 \cdot \varepsilon \leq 33 \cdot \varepsilon \Rightarrow$ Q-Klasse 1 ≤ 2 ok

Querschnitt am Flansch

$$\text{Drucktragfähigkeit } N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 55.18 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 32.1 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 32.1 \text{ kN} < F_{Rd} = 55.2 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.582 < 1 \text{ ok}$$

Querschnitt am Steg

$$\text{Schubtragfähigkeit } V_{Rd} = 178.01 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = F = 30.8 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 30.8 \text{ kN} < F_{Rd} = 178.0 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.173 < 1 \text{ ok}$$

Schweißnähte am Flansch

$$\text{Bemessungsgrößen: } F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 5.25 \text{ kN/cm}, \quad F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 0.90 \text{ kN/cm}, \quad b_1 = 29.4 \text{ mm}$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = 18.25 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.507 < 1 \text{ ok}$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = 17.49 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.675 < 1 \text{ ok}$$

Schweißnähte am Steg

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 1.12 \text{ kN/cm}, \quad l_1 = 137.0 \text{ mm}$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = 6.49 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.180 < 1 \text{ ok}$$

Zugsteife

$$F_{t,Ed} = 75.48 \text{ kN}$$

Kräfte je Rippe

$$F = 0.5 \cdot F_{t,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 28.1 \text{ kN}, \quad H = F \cdot e_F / e_H = 4.8 \text{ kN}$$

Querschnitt am Flansch

$$\text{Zugtragfähigkeit } N_{t,Rd} = 55.18 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 29.3 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 29.3 \text{ kN} < F_{Rd} = 55.2 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.531 < 1 \text{ ok}$$

Querschnitt am Steg

$$\text{Schubtragfähigkeit } V_{Rd} = 178.01 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = F = 28.1 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 28.1 \text{ kN} < F_{Rd} = 178.0 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.158 < 1 \text{ ok}$$

Schweißnähte am Flansch

$$\text{Bemessungsgrößen: } F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 4.78 \text{ kN/cm}, \quad F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 0.82 \text{ kN/cm}, \quad b_1 = 29.4 \text{ mm}$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = 16.63 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.462 < 1 \text{ ok}$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = 15.94 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.615 < 1 \text{ ok}$$

Schweißnähte am Steg

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 1.02 \text{ kN/cm}, \quad l_1 = 137.0 \text{ mm}$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = 5.92 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.164 < 1 \text{ ok}$$

3.2.5.4. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.760 < 1$ ok

3.2.6. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 2 Zug-Schraubenreihen:

$$1: k_3 = 3.09 \text{ mm}, \quad k_4 = 11.52 \text{ mm}, \quad k_5 = 6.96 \text{ mm}, \quad k_{10} = 4.39 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 1.279 \text{ mm}$$

$$2: k_3 = 3.09 \text{ mm}, \quad k_4 = 11.52 \text{ mm}, \quad k_5 = 6.96 \text{ mm}, \quad k_{10} = 4.39 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 1.279 \text{ mm}$$

$$k_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) / z_{eq} = 1.912 \text{ mm}, \quad z_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) = 115.1 \text{ mm}$$

$$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 4.05 \text{ mm}$$

$$k_2 = \infty \text{ (ausgesteift)}$$

Rotationssteifigkeit

$$\text{Anfangsrotationssteifigkeit: } S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 3611.8 \text{ kNm/rad}, \quad z = z_{eq} = 115.1 \text{ mm}, \quad \Sigma(1/k_i) = 0.770 \text{ mm}^{-1}$$

$$|N_{b,Ed}| = 7.31 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 28.14 \text{ kN} \text{ ok}$$

$$\text{Rotationssteifigkeit: } S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 3611.8 \text{ kNm/rad}, \quad \mu = 1$$

Verdrehung: $\varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.138^\circ$