

Breite einer Flanschseite ohne Ausrundung/Schweißnaht $c_f = 22.8 \text{ mm}$
 Schwerpunktabstand von oben $z_s = 60.0 \text{ mm}$
 Querschnittsfläche $A = 13.21 \text{ cm}^2$, Umfang $U = 47.52 \text{ cm}$
 Flächenträgheitsmomente $I_y = 317.75 \text{ cm}^4$, $I_z = 27.66 \text{ cm}^4$
 plastische Widerstandsmomente $W_{pl,y} = 60.72 \text{ cm}^3$, $W_{pl,z} = 13.57 \text{ cm}^3$
 wirksame Schubflächen $A_{vy} = 8.06 \text{ cm}^2$, $A_{vz} = 6.31 \text{ cm}^2$
 Torsionsträgheitsmoment $I_T = 1.81 \text{ cm}^4$

Verstärkung des Profils durch Quersteifen (Stegsteifen in Höhe von Trägerzug- und -druckflansch, $d_{st} = 113.7 \text{ mm}$):

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

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

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

Parameter des Trägers

Profil IPE120

Gesamthöhe $h = 120.0 \text{ mm}$, Stegdicke $t_w = 4.4 \text{ mm}$

Flanschbreite $b_f = 64.0 \text{ mm}$, Flanschdicke $t_f = 6.3 \text{ mm}$, gewalzt mit $r = 7.0 \text{ mm}$

gewalztes Profil, Ausrundungsradius $r = 7.0 \text{ mm}$

Steghöhe ohne Ausrundung/Schweißnaht $d_w = 93.4 \text{ mm}$

Breite einer Flanschseite ohne Ausrundung/Schweißnaht $c_f = 22.8 \text{ mm}$

Schwerpunktabstand von oben $z_s = 60.0 \text{ mm}$

Querschnittsfläche $A = 13.21 \text{ cm}^2$, Umfang $U = 47.52 \text{ cm}$

Flächenträgheitsmomente $I_y = 317.75 \text{ cm}^4$, $I_z = 27.66 \text{ cm}^4$

plastische Widerstandsmomente $W_{pl,y} = 60.72 \text{ cm}^3$, $W_{pl,z} = 13.57 \text{ cm}^3$

wirksame Schubflächen $A_{vy} = 8.06 \text{ cm}^2$, $A_{vz} = 6.31 \text{ cm}^2$

Torsionsträgheitsmoment $I_T = 1.81 \text{ cm}^4$

Schrauben

Festigkeitsklasse 8.8

Rechenparameter:

char. Streckgrenze $f_{yb} = 640.0 \text{ N/mm}^2$

char. Zugfestigkeit $f_{ub} = 800.0 \text{ N/mm}^2$

Schraubengröße M8

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

normales Lochspiel

Rechenparameter:

Schaftdurchmesser $d = 8.0 \text{ mm}$, Nennlochspiel $\Delta d = 1.0 \text{ mm} \Rightarrow$ Lochdurchmesser $d_0 = 9.0 \text{ mm}$

Bruttoquerschnittsfläche (Schaft) $A = 0.503 \text{ cm}^2$

Spannungsquerschnittsfläche $A_s = 0.366 \text{ cm}^2$

Durchmesser des Schraubenkopfes (Schlüsselweite) $d_s = 13.00 \text{ mm}$

Durchmesser des Schraubenkopfes (Eckenmaß) $d_e = 14.20 \text{ mm}$

Schraubenkopfhöhe $t_k = 5.3 \text{ mm}$

Höhe der Mutter $t_m = 7.9 \text{ mm}$

Durchmesser der Unterlegscheibe $d_p = 16.0 \text{ mm}$

Blechdicke der Unterlegscheibe $t_p = 1.6 \text{ mm}$

Unterlegscheibe beidseitig

Schaft in der Scherfuge

Schweißnähte

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm}$

Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 3.0 \text{ mm}$

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm}$

75% der Druckspannung wird über Kontakt abgetragen

Parameter der Verbindung

geschraubter Stirnblechanschluss

Stirnblech Dicke $t_p = 10.0 \text{ mm}$, Breite $b_p = 60.0 \text{ mm}$, Länge $l_p = 140.0 \text{ mm}$

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

Schrauben:

2 Schraubenreihen mit je 2 Schrauben

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 14.0 \text{ mm}$

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 40.0 \text{ mm}$

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 40.0 \text{ mm}$

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

Abstand der Querbelastung $\Delta a = 130.0 \text{ mm}$

Nachweis der Ermüdung:

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

Ermittlung der Tragfähigkeiten

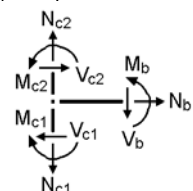
Nachweis der Konsole-Stützenverbindung, Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

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

Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen (GZT)

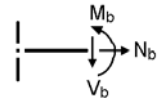
Lk	$M_{j,b1,Ed}$	$V_{j,b1,Ed}$
--	kNm	kN
1	-8.00	40.00

$M_{j,b1,Ed}, V_{j,b1,Ed}$: Knotenschnittgrößen



Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen (GZE)

Lk	$M_{j,b1,Ed}$ kNm	$V_{j,b1,Ed}$ kN
--		
1	-1.00	5.00
2	-3.00	15.00



$M_{j,b1,Ed}, V_{j,b1,Ed}$: Knotenschnittgrößen

Materialsicherheitsbeiwerte (GZT)

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

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

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

Materialsicherheitsbeiwert (GZE)

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

2. Nachweise

2.1. Anschluss an die Stütze (GZT)

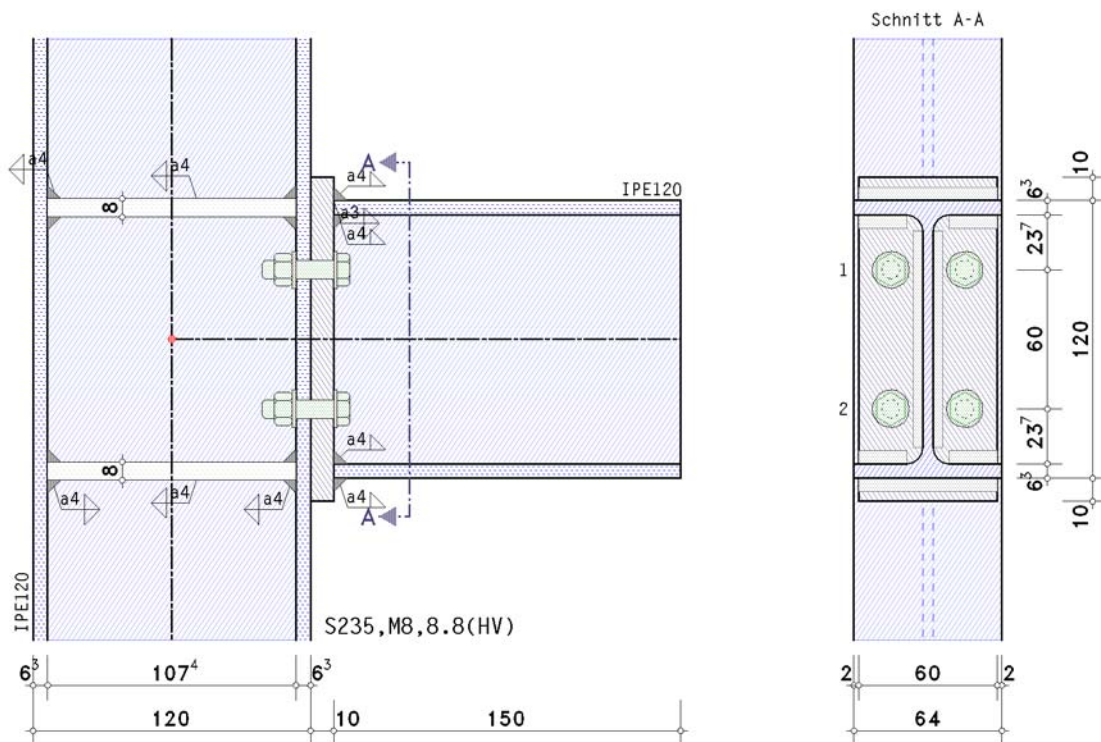
Umrechnung Knotenschnittgrößen $\rightarrow$ Konsollasten

Momentenfehler $\Delta M_{Ed} = M_{j,b,Ed} + F_{Ed} \cdot \Delta a - H_{Ed} \cdot \Delta h$ mit $\Delta a = 200.0$ mm, $\Delta h = 60.0$ mm

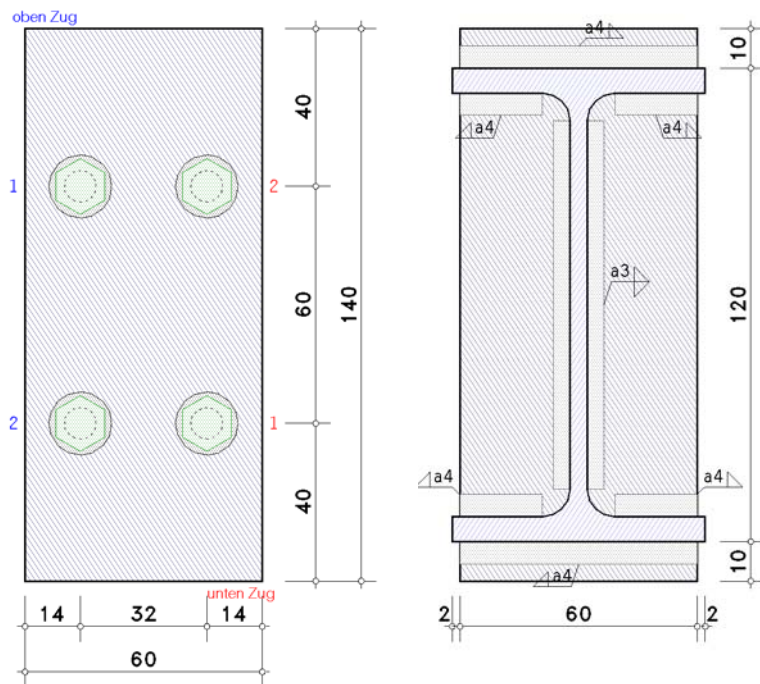
$F_{1,Ed} = 40.00$ kN

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

2.1.1. Eingabeprotokoll



Details (Schnitt A - A)



Stahlsorte

Stahlgüte S235, Rechenparameter:

char. Streckgrenze $f_{y,t \leq 40\text{mm}} = 235.0 \text{ N/mm}^2$, $f_{y,t \leq 80\text{mm}} = 215.0 \text{ N/mm}^2$, $f_{y,t > 80\text{mm}} = 215.0 \text{ N/mm}^2$

char. Zugfestigkeit $f_{u,t \leq 40\text{mm}} = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $f_{u,t \leq 80\text{mm}} = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $f_{u,t > 80\text{mm}} = 360.0 \text{ N/mm}^2$

Korrelationsbeiwert für Kehlnähte $\beta_w = 0.80$

Elastizitätsmodul $E = 210000.0 \text{ N/mm}^2$

Parameter der Stütze

Profil IPE120

Gesamthöhe $h = 120.0 \text{ mm}$, Stegdicke $t_w = 4.4 \text{ mm}$

Flanscbreite $b_f = 64.0 \text{ mm}$, Flanschdicke $t_f = 6.3 \text{ mm}$, gewalzt mit $r = 7.0 \text{ mm}$

gewalztes Profil, Ausrundungsradius $r = 7.0 \text{ mm}$

Steghöhe ohne Ausrundung/Schweißnaht $d_w = 93.4 \text{ mm}$

Breite einer Flanschseite ohne Ausrundung/Schweißnaht $c_f = 22.8 \text{ mm}$

Schwerpunktabstand von oben $z_s = 60.0 \text{ mm}$

Querschnittsfläche $A = 13.21 \text{ cm}^2$, Umfang $U = 47.52 \text{ cm}$

Flächenträgheitsmomente $I_y = 317.75 \text{ cm}^4$, $I_z = 27.66 \text{ cm}^4$

plastische Widerstandsmomente $W_{pl,y} = 60.72 \text{ cm}^3$, $W_{pl,z} = 13.57 \text{ cm}^3$

wirksame Schubflächen $A_{vy} = 8.06 \text{ cm}^2$, $A_{vz} = 6.31 \text{ cm}^2$

Torsionsträgheitsmoment $I_T = 1.81 \text{ cm}^4$

Verstärkung des Profils durch Quersteifen (Stegsteifen in Höhe von Trägerzug- und -druckflansch, $d_{st} = 113.7 \text{ mm}$):

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

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

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

Schrauben

Festigkeitsklasse 8.8

Rechenparameter:

char. Streckgrenze $f_{yb} = 640.0 \text{ N/mm}^2$

char. Zugfestigkeit $f_{ub} = 800.0 \text{ N/mm}^2$

Schraubengröße M8

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

normales Lochspiel

Rechenparameter:

Schaftdurchmesser $d = 8.0 \text{ mm}$, Nennlochspiel $\Delta d = 1.0 \text{ mm} \Rightarrow$ Lochdurchmesser $d_0 = 9.0 \text{ mm}$

Bruttoquerschnittsfläche (Schaft) $A = 0.503 \text{ cm}^2$

Spannungsquerschnittsfläche $A_s = 0.366 \text{ cm}^2$

Durchmesser des Schraubenkopfes (Schlüsselweite) $d_s = 13.00 \text{ mm}$

Durchmesser des Schraubenkopfes (Eckenmaß) $d_e = 14.20 \text{ mm}$

Schraubenkopfhöhe $t_k = 5.3 \text{ mm}$

Höhe der Mutter $t_m = 7.9 \text{ mm}$

Durchmesser der Unterlegscheibe $d_p = 16.0 \text{ mm}$

Blechdicke der Unterlegscheibe $t_p = 1.6 \text{ mm}$

Unterlegscheibe beidseitig

Schaft in der Scherfuge

Parameter des Trägers

Profil IPE120

Gesamthöhe $h = 120.0 \text{ mm}$, Stegdicke $t_w = 4.4 \text{ mm}$

Flanscbreite $b_f = 64.0 \text{ mm}$, Flanschdicke $t_f = 6.3 \text{ mm}$, gewalzt mit $r = 7.0 \text{ mm}$

gewalztes Profil, Ausrundungsradius $r = 7.0 \text{ mm}$
 Steghöhe ohne Ausrundung/Schweißnaht $d_w = 93.4 \text{ mm}$
 Breite einer Flanschseite ohne Ausrundung/Schweißnaht $c_f = 22.8 \text{ mm}$
 Schwerpunktabstand von oben $z_s = 60.0 \text{ mm}$
 Querschnittsfläche $A = 13.21 \text{ cm}^2$, Umfang $U = 47.52 \text{ cm}$
 Flächenträgheitsmomente $I_y = 317.75 \text{ cm}^4$, $I_z = 27.66 \text{ cm}^4$
 plastische Widerstandsmomente $W_{pl,y} = 60.72 \text{ cm}^3$, $W_{pl,z} = 13.57 \text{ cm}^3$
 wirksame Schubflächen $A_{vy} = 8.06 \text{ cm}^2$, $A_{vz} = 6.31 \text{ cm}^2$
 Torsionsträgheitsmoment $I_T = 1.81 \text{ cm}^4$

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss

Dicke $t_p = 10.0 \text{ mm}$, Breite $b_p = 60.0 \text{ mm}$, Länge $l_p = 140.0 \text{ mm}$

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

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

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 14.0 \text{ mm}$

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 40.0 \text{ mm}$

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 40.0 \text{ mm}$

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

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm}$

Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 3.0 \text{ mm}$

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm}$

75% der Druckspannung wird über Kontakt abgetragen

Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen

Lk 1: $M_{j,b,Ed} = -8.00 \text{ kNm}$, $V_{j,b,Ed} = 40.00 \text{ kN}$

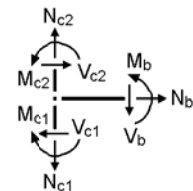
Material sicherheitsbeiwerte

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 $\gamma_{M7} = 1.10$



Hinweis

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

Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

Datencheck

ok

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

Schraubenabstände am Stirnblech

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

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

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

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

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

Schraubenabstand vom Stützenrand

horizontal: $e_2 = 16.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 10.8 \text{ mm}$,

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

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

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

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

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

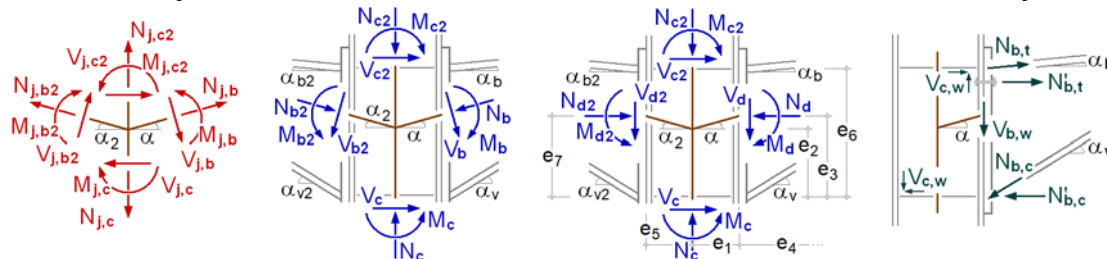
$e_2 = 16.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 65.2 \text{ mm}$

2.1.2. Lk 1

2.1.2.1. Bemessungsgrößen

Knotenschnittgrößen Anschnitt Anschluss $\perp$ zur Anschlussebene

Teilschnittgrößen



Vorzeichendefinition der Statik: eine positive Normalkraft bedeutet Zug, ein positives Moment erzeugt unten Zug

$\Rightarrow$ Transformation nach EC3: eine positive Normalkraft bedeutet Druck, ein positives Moment erzeugt oben Zug

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

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

Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen (Eingabe Träger)

$M_{j,b,Ed} = -8.00 \text{ kNm}$, $V_{j,b,Ed} = 40.00 \text{ kN}$

Transformation Statik-KoS -> EC3-KoS

$M_{j,b,Ed} = 8.00 \text{ kNm}$, $V_{j,b,Ed} = 40.00 \text{ kN}$

Transformation Knotengrößen -> Anschlussgrößen

$M_{b,Ed} = 5.60 \text{ kNm}$, $V_{b,Ed} = 40.00 \text{ kN}$

Transformation Anschlussgrößen -> Bemessungsgrößen

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

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger

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

Teilschnittgrößen

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

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

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

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

2.1.2.2. Querschnittstragfähigkeit im Anschnitt

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

zul. Normal-/Schubspannung: $\sigma_{x,Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2$, $\tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2$

Obergurt: Grenznormalkräfte $N_{max,O} = 94.75 \text{ kN}$, $N_{min,O} = -94.75 \text{ kN}$

Untergurt: Grenznormalkräfte $N_{max,U} = 94.75 \text{ kN}$, $N_{min,U} = -94.75 \text{ kN}$

Steg: Querkraft $V_s = 40.00 \text{ kN}$, Schubspg. $\tau_s = 79.96 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\tau,s} = 0.589$

Grenznormalkräfte $N_{max,S} = 94.98 \text{ kN}$, $N_{min,S} = -94.98 \text{ kN}$

Hauptbieg.: $M_y = -5.20 \text{ kNm}$, Grenzmomente $M_{y,max} = 13.47 \text{ kNm}$, $M_{y,min} = -13.47 \text{ kNm} \Rightarrow U_{M_y} = 0.386$

Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): $\max U = 0.592 < 1$ **ok**

c/t-Verhältnis bzgl. Q-Klasse 3:

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

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

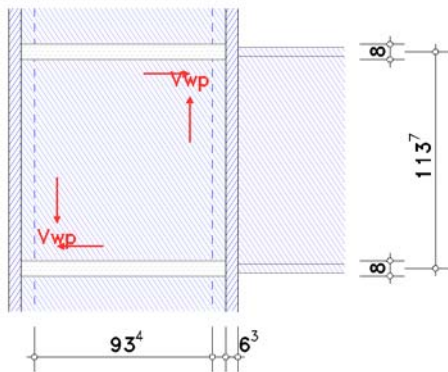
gesamt: Ausnutzung $U_{c/t} = 0.165 < 1$ **ok**

2.1.2.3. Grundkomponenten

Stirnblechanschluss: Grundkomponenten: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12

2.1.2.3.1. Gk 1: Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9)) $\beta_j = 1.00 \leq 2$ für $M_{j1} = 8.00 \text{ kNm}$ ($M_{j2} = 0$)



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

Voraussetzung

Schlankheit des Stützenstegs $d_c/t_{wc} = 21.23 < 69 \cdot \epsilon = 69.00$, $\epsilon = 1.00 \Rightarrow$ Verfahren anwendbar

Schubfläche

Schubfläche $A_v = 6.31 \text{ cm}^2$

plastische Schubtragfähigkeit

plastische Schubtragfähigkeit ohne Steifen $V_{wp,Rd} = (0.9 \cdot f_{y,w} \cdot A_v) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 77.0 \text{ kN}$

Anordnung von zwischenliegenden Stegsteifen:

plastisches Widerstandsmoment eines Stützenflanschs $W_{pl,fc} = b_{fc} \cdot t_{fc}^2 / 4 = 0.64 \text{ cm}^3$

plastisches Widerstandsmoment einer Stegsteife $W_{pl,st} = 2 \cdot b_{st} \cdot t_{st}^2 / 4 = 0.95 \text{ cm}^3$

plastische Biegetragfähigkeit des Stützenflanschs $M_{pl,fc,Rd} = (W_{pl,fc} \cdot f_{y,c}) / \gamma_{M0} = 0.15 \text{ kNm}$

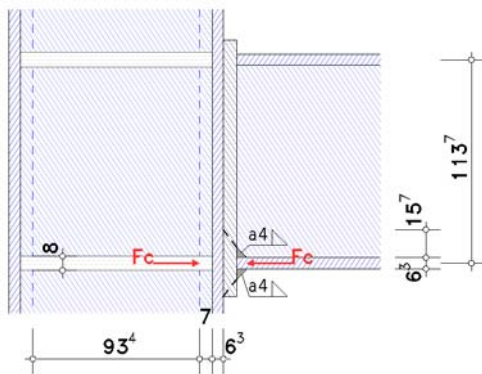
plastische Biegetragfähigkeit der Stegsteife $M_{pl,st,Rd} = (W_{pl,st} \cdot f_{y,st}) / \gamma_{M0} = 0.22 \text{ kNm}$

zusätzliche Tragfähigkeit $V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd} / d_{st} = 5.3 \text{ kN} \leq 2 \cdot (M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,st,Rd}) / d_{st} = 6.6 \text{ kN}$ **ok**

plastische Schubtragfähigkeit mit Quersteifen $V_{wp,Rd} = 82.2 \text{ kN}$

2.1.2.3.2. Gk 2: Stützensteg mit Querdrukbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9)) $\beta_1 = 1.00 \leq 2$ für $M_{j1} = 8.00 \text{ kNm}$ ($M_{j2} = 0$)



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

Tragfähigkeit ohne Quersteifen

wirksame Breite

wirksame Breite des Stützenstegs für Querdruk $b_{eff,c} = t_{f,b} + 2 \cdot 2^{1/2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{f,c} + s_c) + s_p = 98.5 \text{ mm}$,
 $a_p = 4.0 \text{ mm}$, $s_c = 7.0 \text{ mm}$, $s_p = 14.3 \text{ mm}$

Längsdruckspannung im Steg

Abminderungsbeiwert $k_w = 1.0$ ($\sigma_{com,Ed} = 0$)

Plattenbeulen

Plattenschlankheitsgrad $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{eff,c} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 0.679$, $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen $\rho = 1$

Schubfläche

Schubfläche $A_v = 6.31 \text{ cm}^2$

Interaktion mit der Schubbeanspruchung

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0.787$

mit $\omega_1 = 1 / [1 + 1.3 \cdot (b_{eff,c} \cdot t_w / A_v)^2]^{1/2} = 0.787$

Tragfähigkeit eines Stegs mit Querdrukbeanspruchung

$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 80.14 \text{ kN}$, $f_{y,w} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 72.86 \text{ kN}$ (maßgebend)

Verstärkung des Stegs durch Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet:

Q-Klasse 1 für $\alpha = 1.000$, $c/t = 3.73$ (einseitig gestützt) $< 9.00 \cdot \varepsilon = 9.00 \leq 3$ **ok**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen

Länge des Beulfelds (Abstand der Steifen) $a = 113.7 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen $h_{wc} = d_c + 2 \cdot s_c = 107.4 \text{ mm}$

Trägheitsmoment der Steifen $I_{st} = (2 \cdot b_{st} + t_{wc})^3 \cdot t_{st} / 12 = 17.48 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für $a/h_{wc} = 1.06 < 2^{1/2}$: $I_{st,min} = 1.5 \cdot (h_{wc} \cdot t_{wc})^3 / a^2 = 1.22 \text{ cm}^4 < I_{st}$ **ok**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken

Torsionsträgheitsmoment der Steifen $I_T \approx b_{st} \cdot t_{st}^3 / 3 = 0.51 \text{ cm}^4$

polares Trägheitsmoment der Steifen $I_p = b_{st} \cdot t_{st}^3 / 12 + t_{st} \cdot b_{st}^3 / 12 = 1.89 \text{ cm}^4$

$I_T / I_p \approx 0.269 > 0.006 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st}$ **ok**

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung

Fläche der Steifen einschl. Steg $A_{st} = (2 \cdot b_{st} + t_{wc}) \cdot t_{st} = 5.12 \text{ cm}^2$

Trägheitsradius der Steifen $i = (I_{st} / A_{st})^{1/2} = 18.5 \text{ mm}$

Knicklänge der Steifen $L_{cr} = h_{wc} = 107.4 \text{ mm}$

Schlankheitsgrad $\lambda = L_{cr} / (i \cdot \lambda_1) = 0.062$ mit $\lambda_1 = \pi \cdot (E_{st} / f_{y,st})^{1/2} = 93.9$

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

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken $F_{c,w,Rd} = \chi \cdot A_{st} \cdot f_{y,st} / \gamma_{M1} = 109.4 \text{ kN}$

Maximale Tragfähigkeit

$F_{c,w,Rd} = 109.4 \text{ kN}$ (Tragfähigkeit mit Quersteifen)

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

Tragfähigkeit ohne Quersteifen

wirksame Breite

wirksame Breite des Stützenstegs für Querdruk $b_{eff,c} = t_{f,b} + 2 \cdot 2^{1/2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{f,c} + s_c) + s_p = 98.5 \text{ mm}$,
 $a_p = 4.0 \text{ mm}$, $s_c = 7.0 \text{ mm}$, $s_p = 14.3 \text{ mm}$

Längsdruckspannung im Steg

Abminderungsbeiwert $k_w = 1.0$ ($\sigma_{com,Ed} = 0$)

Plattenbeulen

Plattenschlankheitsgrad $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{eff,c} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 0.679$, $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen $\rho = 1$

Schubfläche

Schubfläche $A_v = 6.31 \text{ cm}^2$

Interaktion mit der Schubbeanspruchung

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0.787$

mit $\omega_1 = 1 / [1 + 1.3 \cdot (b_{eff,c} \cdot t_w / A_v)^2]^{1/2} = 0.787$

Tragfähigkeit eines Stegs mit Querdrukbeanspruchung

$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 80.14 \text{ kN}$, $f_{y,w} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 72.86 \text{ kN (maßgebend)}$$

Verstärkung des Stegs durch Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet:

Q-Klasse 1 für $\alpha = 1.000$, $c/t = 3.73$ (einseitig gestützt) $< 9.00 \cdot \varepsilon = 9.00 \leq 3$ **ok**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen

Länge des Beulfelds (Abstand der Steifen) $a = 113.7 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen $h_{wc} = d_c + 2 \cdot s_c = 107.4 \text{ mm}$

Trägheitsmoment der Steifen $I_{st} = (2 \cdot b_{st} + t_{wc})^3 \cdot t_{st} / 12 = 17.48 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für $a/h_{wc} = 1.06 < 2^{1/2}$: $I_{st,min} = 1.5 \cdot (h_{wc} \cdot t_{wc})^3 / a^2 = 1.22 \text{ cm}^4 < I_{st}$ **ok**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken

Torsionsträgheitsmoment der Steifen $I_T \approx b_{st} \cdot t_{st}^3 / 3 = 0.51 \text{ cm}^4$

polarer Trägheitsmoment der Steifen $I_p = b_{st} \cdot t_{st}^3 / 12 + t_{st} \cdot b_{st}^3 / 12 = 1.89 \text{ cm}^4$

$I_T / I_p \approx 0.269 > 0.006 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st}$ **ok**

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdrukbeanspruchung

Fläche der Steifen einschl. Steg $A_{st} = (2 \cdot b_{st} + t_{wc}) \cdot t_{st} = 5.12 \text{ cm}^2$

Trägheitsradius der Steifen $i = (I_{st} / A_{st})^{1/2} = 18.5 \text{ mm}$

Knicklänge der Steifen $L_{cr} = h_{wc} = 107.4 \text{ mm}$

Schlankheitsgrad $\lambda = L_{cr} / (i \cdot \lambda_1) = 0.062$ mit $\lambda_1 = \pi \cdot (E_{st} / f_{y,st})^{1/2} = 93.9$

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

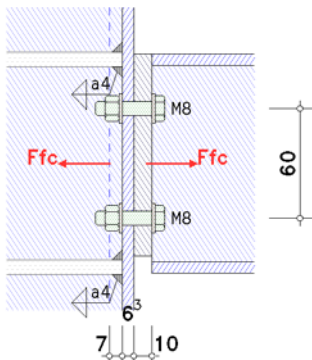
Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken $F_{c,w,Rd} = \chi \cdot A_{st} \cdot f_{y,st} / \gamma_{M1} = 109.4 \text{ kN}$

Maximale Tragfähigkeit

$F_{c,w,Rd} = 109.4 \text{ kN}$ (Tragfähigkeit mit Quersteifen)

2.1.2.3.3. 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

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 18.3 \text{ mm} > 2 \cdot m = 16.4 \text{ mm} \Rightarrow m_2 = 0$

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 16.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 8.2 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch)

(andere) äußere Schraubenreihe

$l_{eff,cp,a} = 2 \cdot \pi \cdot m = 51.5 \text{ mm}$ ($e_1 = \infty$)

$l_{eff,nc,a} = 4 \cdot m + 1.25 \cdot e = 52.8 \text{ mm}$ ($e_1 = \infty$)

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 51.5 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 52.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$n = \min(e_{min}, 1.25 \cdot m) = 10.3 \text{ mm}$, $e_{min} = 14.0 \text{ mm}$, $m = 8.2 \text{ mm}$

aufnehmbare plastische Momente:

für Modus 1: $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.12 \text{ kNm}$, $t_f = 6.3 \text{ mm}$, $f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_{M0} = 1.00$

für Modus 2: $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.12 \text{ kNm}$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 21.08 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$, $f_{ub} = 800.0 \text{ N/mm}^2$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 42.16 \text{ kN}$, $n_b = 1$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem alternativen Verfahren

maßgebender Durchmesser der Schraube $d_w = d_p = 16.00 \text{ mm} \Rightarrow e_w = d_w / 4 = 4.0 \text{ mm}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 94.28 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 36.77 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 42.16 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 36.77 \text{ kN}$

Reihe 2

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 18.3 \text{ mm} > 2 \cdot m = 16.4 \text{ mm} \Rightarrow m_2 = 0$

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 16.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 8.2 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch)

(andere) äußere Schraubenreihe

$$l_{\text{eff,cp,a}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 51.5 \text{ mm} \quad (e_1 = \infty)$$

$$l_{\text{eff,nc,a}} = 4 \cdot m + 1.25 \cdot e = 52.8 \text{ mm} \quad (e_1 = \infty)$$

für Modus 1: $\Sigma l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff},1} = \min(l_{\text{eff,nc}}, l_{\text{eff,cp}}) = 51.5 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}} = 52.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$$n = \min(e_{\text{min}}, 1.25 \cdot m) = 10.3 \text{ mm}, \quad e_{\text{min}} = 14.0 \text{ mm}, \quad m = 8.2 \text{ mm}$$

aufnehmbare plastische Momente:

$$\text{für Modus 1: } M_{\text{pl},1,\text{Rd}} = (0.25 \cdot \Sigma l_{\text{eff},1} \cdot t_{\text{f}}^2 \cdot f_{\text{y}}) / \gamma_{\text{M}0} = 0.12 \text{ kNm}, \quad t_{\text{f}} = 6.3 \text{ mm}, \quad f_{\text{y}} = 235.0 \text{ N/mm}^2, \quad \gamma_{\text{M}0} = 1.00$$

$$\text{für Modus 2: } M_{\text{pl},2,\text{Rd}} = (0.25 \cdot \Sigma l_{\text{eff},2} \cdot t_{\text{f}}^2 \cdot f_{\text{y}}) / \gamma_{\text{M}0} = 0.12 \text{ kNm}$$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

$$\text{Zugtragfähigkeit einer Schraube: } F_{\text{t,Rd}} = (k_2 \cdot f_{\text{ub}} \cdot A_{\text{s}}) / \gamma_{\text{M}2} = 21.08 \text{ kN}, \quad k_2 = 0.90, \quad f_{\text{ub}} = 800.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{für Modus 3: } \Sigma F_{\text{t,Rd}} = 2 \cdot n_{\text{b}} \cdot F_{\text{t,Rd}} = 42.16 \text{ kN}, \quad n_{\text{b}} = 1$$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem alternativen Verfahren

$$\text{maßgebender Durchmesser der Schraube } d_{\text{w}} = d_{\text{p}} = 16.00 \text{ mm} \Rightarrow e_{\text{w}} = d_{\text{w}}/4 = 4.0 \text{ mm}$$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{\text{T},1,\text{Rd}} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_{\text{w}}) \cdot M_{\text{pl},1,\text{Rd}}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_{\text{w}} \cdot (m+n)) = 94.28 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{\text{T},2,\text{Rd}} = (2 \cdot M_{\text{pl},2,\text{Rd}} + n \cdot \Sigma F_{\text{t,Rd}}) / (m+n) = 36.77 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

$$F_{\text{T},3,\text{Rd}} = \Sigma F_{\text{t,Rd}} = 42.16 \text{ kN}$$

$$\text{Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: } F_{\text{T,Rd}} = \min(F_{\text{T},1,\text{Rd}}, F_{\text{T},2,\text{Rd}}, F_{\text{T},3,\text{Rd}}) = 36.77 \text{ kN}$$

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

$$F_{\text{t,fc,Rd},1} = 36.77 \text{ kN}, \quad l_{\text{eff},1} = 51.5 \text{ mm}$$

$$F_{\text{t,fc,Rd},2} = 36.77 \text{ kN}, \quad l_{\text{eff},2} = 51.5 \text{ mm}$$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_{\text{b}} = 2$ (zwischen den Steifen)

Reihe 1

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 16.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 8.2 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenreihen voneinander $p = 60.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 18.3 \text{ mm} > 2 \cdot m = 16.4 \text{ mm} \Rightarrow m_2 = 0$

(andere) äußere Schraubenreihe

$$l_{\text{eff,cp,a}} = \pi \cdot m + p = 85.8 \text{ mm} \quad (e_1 = \infty)$$

$$l_{\text{eff,nc,a}} = 2 \cdot m + 0.625 \cdot e + 0.5 \cdot p = 56.4 \text{ mm} \quad (e_1 = \infty)$$

Reihe 2

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 16.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 8.2 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenreihen voneinander $p = 60.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 18.3 \text{ mm} > 2 \cdot m = 16.4 \text{ mm} \Rightarrow m_2 = 0$

(andere) äußere Schraubenreihe

$$l_{\text{eff,cp,a}} = \pi \cdot m + p = 85.8 \text{ mm} \quad (e_1 = \infty)$$

$$l_{\text{eff,nc,a}} = 2 \cdot m + 0.625 \cdot e + 0.5 \cdot p = 56.4 \text{ mm} \quad (e_1 = \infty)$$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch)

für Modus 1: $\Sigma l_{\text{eff},1} = \min(\Sigma l_{\text{eff,nc}}, \Sigma l_{\text{eff,cp}}) = 112.8 \text{ mm}, \quad \Sigma l_{\text{eff,cp}} = 171.5 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{\text{eff},2} = \Sigma l_{\text{eff,nc}} = 112.8 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$$n = \min(e_{\text{min}}, 1.25 \cdot m) = 10.3 \text{ mm}, \quad e_{\text{min}} = 14.0 \text{ mm}, \quad m = 8.2 \text{ mm}$$

aufnehmbare plastische Momente:

$$\text{für Modus 1+2: } M_{\text{pl,Rd}} = (0.25 \cdot \Sigma l_{\text{eff}} \cdot t_{\text{f}}^2 \cdot f_{\text{y}}) / \gamma_{\text{M}0} = 0.26 \text{ kNm}, \quad t_{\text{f}} = 6.3 \text{ mm}, \quad f_{\text{y}} = 235.0 \text{ N/mm}^2, \quad \gamma_{\text{M}0} = 1.00$$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

$$\text{Zugtragfähigkeit einer Schraube: } F_{\text{t,Rd}} = (k_2 \cdot f_{\text{ub}} \cdot A_{\text{s}}) / \gamma_{\text{M}2} = 21.08 \text{ kN}, \quad k_2 = 0.90, \quad f_{\text{ub}} = 800.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{für Modus 3: } \Sigma F_{\text{t,Rd}} = 2 \cdot n_{\text{b}} \cdot F_{\text{t,Rd}} = 84.33 \text{ kN}, \quad n_{\text{b}} = 2$$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem alternativen Verfahren

$$\text{maßgebender Durchmesser der Schraube } d_{\text{w}} = d_{\text{p}} = 16.00 \text{ mm} \Rightarrow e_{\text{w}} = d_{\text{w}}/4 = 4.0 \text{ mm}$$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{\text{T},1,\text{Rd}} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_{\text{w}}) \cdot M_{\text{pl},1,\text{Rd}}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_{\text{w}} \cdot (m+n)) = 206.40 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{\text{T},2,\text{Rd}} = (2 \cdot M_{\text{pl},2,\text{Rd}} + n \cdot \Sigma F_{\text{t,Rd}}) / (m+n) = 75.36 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

$$F_{\text{T},3,\text{Rd}} = \Sigma F_{\text{t,Rd}} = 84.33 \text{ kN}$$

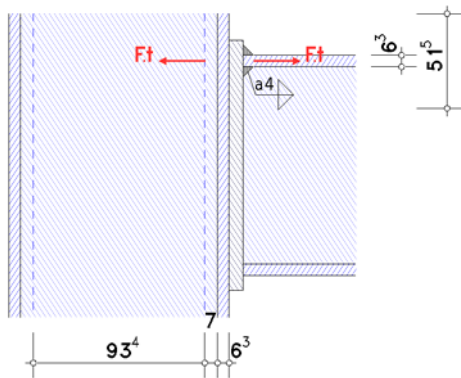
$$\text{Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: } F_{\text{T,Rd}} = \min(F_{\text{T},1,\text{Rd}}, F_{\text{T},2,\text{Rd}}, F_{\text{T},3,\text{Rd}}) = 75.36 \text{ kN}$$

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

$$F_{\text{ep,Rd},1-2} = 75.36 \text{ kN}, \quad \Sigma l_{\text{eff}} = 112.8 \text{ mm}, \quad 2 \text{ Reihen}$$

2.1.2.3.4. Gk 3: Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9)) $\beta_j = 1.00 \leq 2$ für $M_{j1} = 8.00 \text{ kNm}$ ($M_{j2} = 0$)



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

wirksame Breite des Stützenstegs für Querkzug $b_{eff,t} = 51.5 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Schubfläche

Schubfläche $A_v = 6.31 \text{ cm}^2$

Interaktion mit der Schubbeanspruchung

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0.925$

mit $\omega_1 = 1 / [1 + 1.3 \cdot (b_{eff,t} \cdot t_w / A_v)^2]^{1/2} = 0.925$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_w \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 49.3 \text{ kN}$, $f_{y,wc} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

Reihe 2

wirksame Breite

wirksame Breite des Stützenstegs für Querkzug $b_{eff,t} = 51.5 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Schubfläche

Schubfläche $A_v = 6.31 \text{ cm}^2$

Interaktion mit der Schubbeanspruchung

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0.925$

mit $\omega_1 = 1 / [1 + 1.3 \cdot (b_{eff,t} \cdot t_w / A_v)^2]^{1/2} = 0.925$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_w \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 49.3 \text{ kN}$, $f_{y,wc} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

Gruppe von Schraubenreihen, Gruppe 1:

wirksame Breite

wirksame Breite des Stützenstegs für Querkzug $b_{eff,t} = 112.8 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 4)

Schubfläche

Schubfläche $A_v = 6.31 \text{ cm}^2$

Interaktion mit der Schubbeanspruchung

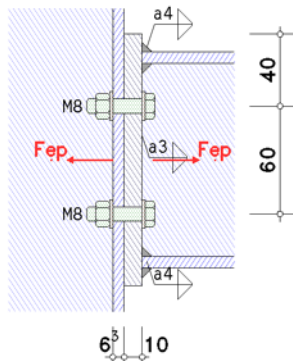
Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0.744$

mit $\omega_1 = 1 / [1 + 1.3 \cdot (b_{eff,t} \cdot t_w / A_v)^2]^{1/2} = 0.744$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_w \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 86.8 \text{ kN}$, $f_{y,wc} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

2.1.2.3.5. 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

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 19.2 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 14.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 10.4 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanchs (Stirnblech)

innere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch

Beiwert für ausgesteifte Stützenflansche/Stirnbleche:

Eingabewerte $\lambda_1 = m / (m+e) = 0.426$, $\lambda_2 = m_2 / (m+e) = 0.786 \Rightarrow \alpha = 5.74$ (berechnet)

$l_{eff,cp,si} = 2 \cdot \pi \cdot m = 65.4 \text{ mm}$

$l_{eff,nc,si} = \alpha \cdot m = 59.7 \text{ mm}$

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 59.7 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 59.7 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$n = \min(e_{min}, 1.25 \cdot m) = 13.0 \text{ mm}$, $e_{min} = 14.0 \text{ mm}$, $m = 10.4 \text{ mm}$

aufnehmbare plastische Momente:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.35 \text{ kNm}$, $t_f = 10.0 \text{ mm}$, $f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_{M0} = 1.00$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 21.08 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$, $f_{ub} = 800.0 \text{ N/mm}^2$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 42.16 \text{ kN}$, $n_b = 1$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem alternativen Verfahren

maßgebender Durchmesser der Schraube $d_w = d_p = 16.00 \text{ mm} \Rightarrow e_w = d_w/4 = 4.0 \text{ mm}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 190.26 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 53.38 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 42.16 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 42.16 \text{ kN}$

Scherfestigkeit: $f_{vw,d} = (f_u/3^{1/2}) / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 207.8 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2 \cdot f_{vw,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 74.44 \text{ kN}$ ($\geq 42.16 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

Reihe 2

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 19.2 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 14.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 10.4 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech)

innere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch

Beiwert für ausgesteifte Stützenflansche/Stirnbleche:

Eingabewerte $\lambda_1 = m / (m+e) = 0.426$, $\lambda_2 = m_2 / (m+e) = 0.786 \Rightarrow \alpha = 5.74$ (berechnet)

$l_{eff,cp,si} = 2 \cdot \pi \cdot m = 65.4 \text{ mm}$

$l_{eff,nc,si} = \alpha \cdot m = 59.7 \text{ mm}$

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 59.7 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 59.7 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$n = \min(e_{min}, 1.25 \cdot m) = 13.0 \text{ mm}$, $e_{min} = 14.0 \text{ mm}$, $m = 10.4 \text{ mm}$

aufnehmbare plastische Momente:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.35 \text{ kNm}$, $t_f = 10.0 \text{ mm}$, $f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_{M0} = 1.00$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 21.08 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$, $f_{ub} = 800.0 \text{ N/mm}^2$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 42.16 \text{ kN}$, $n_b = 1$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem alternativen Verfahren

maßgebender Durchmesser der Schraube $d_w = d_p = 16.00 \text{ mm} \Rightarrow e_w = d_w/4 = 4.0 \text{ mm}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 190.26 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 53.38 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 42.16 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 42.16 \text{ kN}$

Scherfestigkeit: $f_{vw,d} = (f_u/3^{1/2}) / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 207.8 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2 \cdot f_{vw,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 74.44 \text{ kN}$ ($\geq 42.16 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

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

$F_{ep,Rd,1} = 42.16 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 59.7 \text{ mm}$

$F_{ep,Rd,2} = 42.16 \text{ kN}$, $l_{eff,2} = 59.7 \text{ mm}$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 2$

Reihe 1

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 19.2 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 14.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 10.4 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenreihen voneinander $p = 60.0 \text{ mm}$

innere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch

Beiwert für ausgesteifte Stützenflansche/Stirnbleche:

Eingabewerte $\lambda_1 = m / (m+e) = 0.426$, $\lambda_2 = m_2 / (m+e) = 0.786 \Rightarrow \alpha = 5.74$ (berechnet)

$l_{eff,cp,si} = \pi \cdot m + p = 92.7 \text{ mm}$

$l_{eff,nc,si} = 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 60.1 \text{ mm}$

Reihe 2



Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 19.2 \text{ mm}$
 Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 14.0 \text{ mm}$
 Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 10.4 \text{ mm}$
 Abstand der Schraubenreihen voneinander $p = 60.0 \text{ mm}$
 innere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch

Beiwert für ausgesteifte Stützenflansche/Stirnbleche:

Eingabewerte $\lambda_1 = m / (m+e) = 0.426$, $\lambda_2 = m_2 / (m+e) = 0.786 \Rightarrow \alpha = 5.74$ (berechnet)

$l_{\text{eff,cp,si}} = \pi \cdot m + p = 92.7 \text{ mm}$

$l_{\text{eff,nc,si}} = 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 60.1 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech)

für Modus 1: $\Sigma l_{\text{eff},1} = \min(\Sigma l_{\text{eff,nc}}, \Sigma l_{\text{eff,cp}}) = 120.3 \text{ mm}$, $\Sigma l_{\text{eff,cp}} = 185.4 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{\text{eff},2} = \Sigma l_{\text{eff,nc}} = 120.3 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$n = \min(e_{\text{min}}, 1.25 \cdot m) = 13.0 \text{ mm}$, $e_{\text{min}} = 14.0 \text{ mm}$, $m = 10.4 \text{ mm}$

aufnehmbare plastische Momente:

für Modus 1+2: $M_{\text{pl,Rd}} = (0.25 \cdot \Sigma l_{\text{eff}} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 0.71 \text{ kNm}$, $t_f = 10.0 \text{ mm}$, $f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_{M0} = 1.00$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 21.08 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$, $f_{ub} = 800.0 \text{ N/mm}^2$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 84.33 \text{ kN}$, $n_b = 2$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem alternativen Verfahren

maßgebender Durchmesser der Schraube $d_w = d_p = 16.00 \text{ mm} \Rightarrow e_w = d_w/4 = 4.0 \text{ mm}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{\text{pl},1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 383.31 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{\text{pl},2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 107.20 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 84.33 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 84.33 \text{ kN}$

Scherfestigkeit: $f_{vw,d} = (f_u/3^{1/2}) / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 207.8 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2 \cdot f_{vw,d} \cdot a \cdot l_{\text{eff}} = 149.97 \text{ kN}$ ($\geq 84.33 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

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

$F_{\text{ep,Rd},1-2} = 84.33 \text{ kN}$, $\Sigma l_{\text{eff}} = 120.3 \text{ mm}$, 2 Reihen

2.1.2.3.6. Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

Querschnittsklasse des Trägers ($\varepsilon = 1.00$)

Der Beiwert α wird elastisch ermittelt.

Flansch unten

Q-Klasse 1 für $\alpha = 1.000$, $c/t = 3.62$ (einseitig gestützt) $< 9.00 \cdot \varepsilon = 9.00$

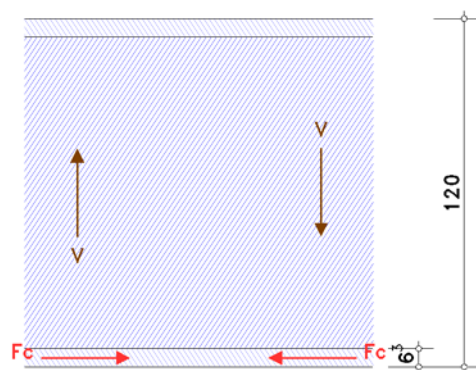
Steg

Q-Klasse 1 für $c/t = 21.23$ (beidseitig gestützt, Biegung) $< 72.00 \cdot \varepsilon = 72.00$

Gesamt: Q-Klasse 1

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion $V_{\text{Ed}} = 40.0 \text{ kN}$

plastisches Widerstandsmoment $W_{\text{pl}} = 60.718 \text{ cm}^3$



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

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft

$V_{\text{pl,Rd}} = A_v \cdot (f_y/3^{1/2}) / \gamma_{M0} = 85.6 \text{ kN}$, $A_v = 6.31 \text{ cm}^2$

$V_{\text{Ed}} = 40.0 \text{ kN} \leq 42.8 \text{ kN} = V_{\text{pl,Rd}}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss auf die Biegetragfähigkeit !

Beanspruchung für Querschnittsklasse 1

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{\text{pl,Rd}} = (W_{\text{pl}} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 14.27 \text{ kNm}$, $W_{\text{pl}} = 60.72 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 125.49 \text{ kN}$, $(h - t_f) = 113.7 \text{ mm}$

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

plastisches Widerstandsmoment $W_{\text{pl}} = 60.718 \text{ cm}^3$

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft

$V_{\text{pl,Rd}} = A_v \cdot (f_y/3^{1/2}) / \gamma_{M0} = 85.6 \text{ kN}$, $A_v = 6.31 \text{ cm}^2$

$V_{\text{Ed}} = 40.0 \text{ kN} \leq 42.8 \text{ kN} = V_{\text{pl,Rd}}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss auf die Biegetragfähigkeit !

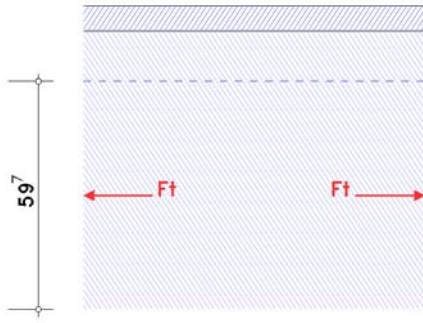
Beanspruchung für Querschnittsklasse 1

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 14.27 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 60.72 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 125.49 \text{ kN}$, $(h - t_f) = 113.7 \text{ mm}$

2.1.2.3.7. 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

wirksame Breite des Trägerstegs mit Zugbeanspruchung $b_{eff,t,wb} = 59.7 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 61.7 \text{ kN}$, $f_{y,wb} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

Reihe 2

wirksame Breite

wirksame Breite des Trägerstegs mit Zugbeanspruchung $b_{eff,t,wb} = 59.7 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 61.7 \text{ kN}$, $f_{y,wb} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

Gruppe von Schraubenreihen, Gruppe 1:

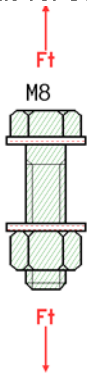
wirksame Breite

wirksame Breite des Trägerstegs mit Zugbeanspruchung $b_{eff,t,wb} = 120.3 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 124.3 \text{ kN}$, $f_{y,wb} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

2.1.2.3.8. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



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

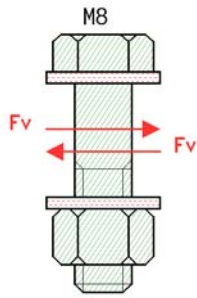
Schraubenkategorie D:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 21.08 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$, $f_{ub} = 800.0 \text{ N/mm}^2$

Durchstantragfähigkeit: $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 46.51 \text{ kN}$, $d_m = 13.6 \text{ mm}$, $t_p = 6.3 \text{ mm}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$

Zug-/Durchstantragfähigkeit für 2 Schrauben: $\Sigma F_{tp,Rd} = 2 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 42.16 \text{ kN}$

2.1.2.3.9. Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung



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

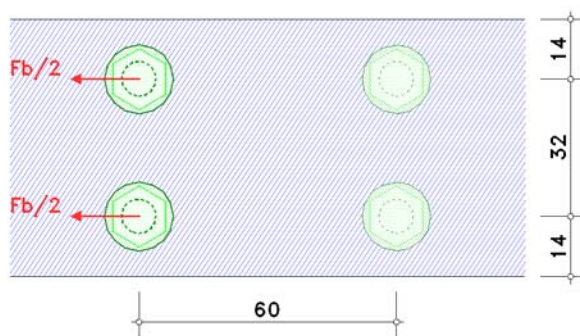
Schraubenkategorie A:

Schaft in der Scherfuge: $\alpha_v = 0.6$, $A = 0.50 \text{ cm}^2$

Abschertragfähigkeit je Scherfuge: $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 19.30 \text{ kN}$, $f_{ub} = 800.0 \text{ N/mm}^2$

Abschertragfähigkeit für 2 Schrauben (1-schnittig): $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 38.60 \text{ kN}$

2.1.2.3.10. 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 (für $V_b \geq 0$):

Schraube 1:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 3.28$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 2.66$ (am Rand liegende Schraube)

$\Rightarrow k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 57.60 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 10.0 \text{ mm}$, $d = 8.0 \text{ mm}$

Schraube 2:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 3.28$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 2.66$ (am Rand liegende Schraube)

$\Rightarrow k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 57.60 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 10.0 \text{ mm}$, $d = 8.0 \text{ mm}$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 115.20 \text{ kN}$

Stützenflansch (für $V_b \geq 0$):

Schraube 1:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 3.28$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 2.66$ (am Rand liegende Schraube)

$\Rightarrow k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 36.29 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 6.3 \text{ mm}$, $d = 8.0 \text{ mm}$

Schraube 2:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 3.28$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 2.66$ (am Rand liegende Schraube)

$\Rightarrow k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 36.29 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 6.3 \text{ mm}$, $d = 8.0 \text{ mm}$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 72.58 \text{ kN}$

Reihe 2

Stirnblech (für $V_b \geq 0$):

Schraube 1:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_{d,i} = p_1 / (3 \cdot d_0) - 1/4 = 1.97$ (innen liegende Schraube)

$\Rightarrow \alpha_b = 1.00$ (der kleinste Wert von α_d oder $f_{ub}/f_u = 2.22$ oder 1.0)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7 = 3.28$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7) = 2.66$ (am Rand liegende Schraube)

$\Rightarrow k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 57.60 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 10.0 \text{ mm}$, $d = 8.0 \text{ mm}$

Schraube 2:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_{d,i} = p_1/(3 \cdot d_0) - 1/4 = 1.97$ (innen liegende Schraube)

$\Rightarrow \alpha_b = 1.00$ (der kleinste Wert von α_d oder $f_{ub}/f_u = 2.22$ oder 1.0)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7 = 3.28$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2/d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7) = 2.66$ (am Rand liegende Schraube)

$\Rightarrow k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 57.60 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 10.0 \text{ mm}$, $d = 8.0 \text{ mm}$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 115.20 \text{ kN}$

Stützenflansch (für $V_b \geq 0$):

Schraube 1:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7 = 3.28$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2/d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7) = 2.66$ (am Rand liegende Schraube)

$\Rightarrow k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 36.29 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 6.3 \text{ mm}$, $d = 8.0 \text{ mm}$

Schraube 2:

in Krafrichtung wirkend: $\alpha_b = 1.00$

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,i} = 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7 = 3.28$ (innen liegende Schraube)

quer zur Krafrichtung wirkend: $k_{1,a} = \min(2.8 \cdot e_2/d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7) = 2.66$ (am Rand liegende Schraube)

$\Rightarrow k_1 = 2.50$ (der kleinste Wert von k_1 oder 2.5)

Lochleibungstragfähigkeit: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 36.29 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $t = 6.3 \text{ mm}$, $d = 8.0 \text{ mm}$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben: $\Sigma F_{b,Rd} = 72.58 \text{ kN}$

Lochleibungstragfähigkeiten (2 Reihen)

$\Sigma F_{b,Rd,1} = 72.58 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,2} = 72.58 \text{ kN}$

2.1.2.4. Anschlusstragfähigkeit

Übertragungsparameter: $\beta_j = 1.00$

2.1.2.4.1. Biegetragfähigkeit

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

Tragfähigkeiten nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

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

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

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stütze)

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

Gruppe 1

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 86.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 75.4 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 50.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 38.6 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stirnblech)

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

Gruppe 1

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 84.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 124.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)

Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 47.6 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 87.6 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

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

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

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

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(7)

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 82.2 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 109.4 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 125.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$ (Reihe 1)

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 45.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 72.6 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 36.8 \text{ kN}$

$$Gk\ 7: \Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 88.7\text{ kN}$$

$$F_{tr,Rd} = 36.8\text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 36.8\text{ kN}$$

Kontrolle nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(9)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 36.8\text{ kN}$, $h_x = 86.8\text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 40.1\text{ kN}$, keine Abminderung

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

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

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

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

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 4

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

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

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

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

Zugtragfähigkeit

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

Drucktragfähigkeit

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

2.1.2.4.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 38.6\text{ kN}$

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 38.6\text{ kN}$

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 38.6\text{ kN} = 14.6\text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.377$

Reihe 2: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 38.6\text{ kN} = 14.6\text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.377$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (endgültig)

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

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

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

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

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

2.1.2.4.3. Schubtragfähigkeit

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

Stirnblech: $V_{ep,Rd} = \tau_{Rd} \cdot t_{ep} \cdot l_{eff} = 126.72\text{ kN}$, $\tau_{Rd} = 135.7\text{ N/mm}^2$, $t_{ep} = 10.0\text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 93.4\text{ mm}$

Scherfestigkeit: $f_{vw,d} = (f_u/3^{1/2}) / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 207.8\text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0\text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$

Schweißnähte: $F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot l_{eff} \cdot f_{vw,d} = 116.48\text{ kN}$, $a = 3.0\text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 93.4\text{ mm}$

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

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

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

2.1.2.4.4. Gesamt

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

2.1.2.5. Nachweise

Innerer Hebelarm für einen geschraubten Stirnblechanschluss mit 2 Zug-Schraubenreihen:

äquivalenter innerer Hebelarm:

$$1: k_3 = 1.70\text{ mm}, k_4 = 21.03\text{ mm}, k_5 = 47.68\text{ mm}, k_{10} = 2.24\text{ mm} \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 0.907\text{ mm}$$

$$2: k_3 = 1.70\text{ mm}, k_4 = 21.03\text{ mm}, k_5 = 47.68\text{ mm}, k_{10} = 2.24\text{ mm} \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 0.907\text{ mm}$$

$$z_{eq} = \Sigma(k_{eff,i} \cdot h_i^2) / \Sigma(k_{eff,i} \cdot h_i) = 7493.5 / 103.1 = 72.7\text{ mm}$$

2.1.2.5.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

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

senkr. z. Anschlussebene

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

paral. z. Anschlussebene

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

im Stützensteg

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

Biegetragfähigkeit

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

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit bei 100%-iger Ausnutzung der Biegetragfähigkeit

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

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

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

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

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

2.1.2.5.2. 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

Konstruktive Grenzwerte der Schweißnähte:

Naht 1: Blechdicke $t_1 = 10.0 \text{ mm} > 4 \text{ mm}$ ok

Blechdicke $t_2 = 6.3 \text{ mm} > 4 \text{ mm}$ ok

NA-DE: Blechdicke $t_{\max} \geq 3 \text{ mm}$: Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\min} = t_{\max}^{1/2} - 0.5 = 2.66 \text{ mm}$ ok

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} < a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 4.4 \text{ mm}$ (Schweisstechnik, s. DIN 18800) ok

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\min} = 3 \text{ mm}$ ok

wirksame Nahtlänge $l_{\text{eff}} = 60.0 \text{ mm} > 30 \text{ mm}$ ok

wirksame Nahtlänge $l_{\text{eff}} = 60.0 \text{ mm} > 6 \cdot a = 24.0 \text{ mm}$ ok

Naht 2: Blechdicke $t_1 = 10.0 \text{ mm} > 4 \text{ mm}$ ok

Blechdicke $t_2 = 6.3 \text{ mm} > 4 \text{ mm}$ ok

NA-DE: Blechdicke $t_{\max} \geq 3 \text{ mm}$: Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\min} = t_{\max}^{1/2} - 0.5 = 2.66 \text{ mm}$ ok

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} < a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 4.4 \text{ mm}$ (Schweisstechnik, s. DIN 18800) ok

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\min} = 3 \text{ mm}$ ok

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

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

Naht 4: Blechdicke $t_1 = 10.0 \text{ mm} > 4 \text{ mm}$ ok

Blechdicke $t_2 = 4.4 \text{ mm} > 4 \text{ mm}$ ok

NA-DE: Blechdicke $t_{\max} \geq 3 \text{ mm}$: Nahtdicke $a = 3.0 \text{ mm} > a_{\min} = t_{\max}^{1/2} - 0.5 = 2.66 \text{ mm}$ ok

Nahtdicke $a = 3.0 \text{ mm} < a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 3.1 \text{ mm}$ (Schweisstechnik, s. DIN 18800) ok

Nahtdicke $a = 3.0 \text{ mm} \geq a_{\min} = 3 \text{ mm}$ ok

wirksame Nahtlänge $l_{\text{eff}} = 93.4 \text{ mm} > 30 \text{ mm}$ ok

wirksame Nahtlänge $l_{\text{eff}} = 93.4 \text{ mm} > 6 \cdot a = 18.0 \text{ mm}$ ok

Naht 8: Blechdicke $t_1 = 10.0 \text{ mm} > 4 \text{ mm}$ ok

Blechdicke $t_2 = 6.3 \text{ mm} > 4 \text{ mm}$ ok

NA-DE: Blechdicke $t_{\max} \geq 3 \text{ mm}$: Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\min} = t_{\max}^{1/2} - 0.5 = 2.66 \text{ mm}$ ok

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} < a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 4.4 \text{ mm}$ (Schweisstechnik, s. DIN 18800) ok

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\min} = 3 \text{ mm}$ ok

wirksame Nahtlänge $l_{\text{eff}} = 60.0 \text{ mm} > 30 \text{ mm}$ ok

wirksame Nahtlänge $l_{\text{eff}} = 60.0 \text{ mm} > 6 \cdot a = 24.0 \text{ mm}$ ok

Naht 6: Blechdicke $t_1 = 10.0 \text{ mm} > 4 \text{ mm}$ ok

Blechdicke $t_2 = 6.3 \text{ mm} > 4 \text{ mm}$ ok

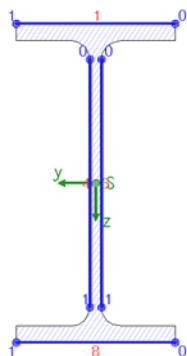
NA-DE: Blechdicke $t_{\max} \geq 3 \text{ mm}$: Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\min} = t_{\max}^{1/2} - 0.5 = 2.66 \text{ mm}$ ok

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} < a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 4.4 \text{ mm}$ (Schweisstechnik, s. DIN 18800) ok

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\min} = 3 \text{ mm}$ ok

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

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

Berechnungsquerschnitt:

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

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

Naht 5: siehe Naht 4

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

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

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

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

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

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

Schnittgrößenverteilung:

Naht 1: $N_w = 37.76 \text{ kN}$

Naht 4: $M_{y,w} = -0.53 \text{ kNm}$

Naht 5: siehe Naht 4

Naht 8: $N_w = -37.76 \text{ kN}$

aus konventioneller Querkraftaufteilung: $V_{z,w} = 40.00 \text{ kN}$

Endpunkte der Nähte:

Naht 1, Pkt. 0: $y' = -30.0 \text{ mm}$ $z' = 0.0 \text{ mm}$

Naht 4, Pkt. 0: $y' = 2.2 \text{ mm}$ $z' = 13.3 \text{ mm}$

Pkt. 1: $y' = 2.2 \text{ mm}$ $z' = 106.7 \text{ mm}$

Naht 8, Pkt. 0: $y' = -30.0 \text{ mm}$ $z' = 120.0 \text{ mm}$

Spannungen in den Endpunkten der Nähte:

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

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

Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -30.62 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 71.38 \text{ N/mm}^2$ (Druckkontakt)

Naht 5, Pkt. 0: siehe Naht 4

Pkt. 1: siehe Naht 4

Naht 8, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -39.34 \text{ N/mm}^2$ (Druckkontakt)

Extremale Spannungen $\sigma_{w,x,\max} = 157.3 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{w,x,\min} = -39.3 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z,\max} = 71.4 \text{ N/mm}^2$

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

75% Spannungsabtrag über Druckkontakt

Nachweis für Naht 1, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 157.3 \text{ N/mm}^2$

resultierende Nahtkraft $F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 629.39 \text{ kN/m}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 831.38 \text{ kN/m}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 4.0 \text{ mm}$

$F_{w,Ed} = 629.39 \text{ kN/m} < F_{w,Rd} = 831.38 \text{ kN/m} \Rightarrow U = 0.757 < 1$ ok

Nachweis für Naht 4, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_{w,x}^2 + \tau_{w,z}^2)^{1/2} = 141.8 \text{ N/mm}^2$

resultierende Nahtkraft $F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 425.25 \text{ kN/m}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 623.54 \text{ kN/m}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 3.0 \text{ mm}$

$F_{w,Ed} = 425.25 \text{ kN/m} < F_{w,Rd} = 623.54 \text{ kN/m} \Rightarrow U = 0.682 < 1$ ok

Nachweis für Naht 4, Pkt. 1:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_{w,x}^2 + \tau_{w,z}^2)^{1/2} = 77.7 \text{ N/mm}^2$

resultierende Nahtkraft $F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 233.00 \text{ kN/m}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 623.54 \text{ kN/m}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 3.0 \text{ mm}$

$F_{w,Ed} = 233.00 \text{ kN/m} < F_{w,Rd} = 623.54 \text{ kN/m} \Rightarrow U = 0.374 < 1$ ok

Nachweis für Naht 8, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 39.3 \text{ N/mm}^2$

resultierende Nahtkraft $F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 157.35 \text{ kN/m}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 831.38 \text{ kN/m}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 4.0 \text{ mm}$

$F_{w,Ed} = 157.35 \text{ kN/m} < F_{w,Rd} = 831.38 \text{ kN/m} \Rightarrow U = 0.189 < 1$ ok

Ergebnis:

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

Max: $F_{w,Ed} = 629.39 \text{ kN/m} < F_{w,Rd} = 831.38 \text{ kN/m} \Rightarrow U_w = 0.757 < 1$ ok

2.1.2.5.3. Nachweis der Stegsteifen

$N_{R,t} = (-N_d \cdot z_{bu} + M_d) / z = 77.05 \text{ kN}$, $z = z_{eq} = 72.7 \text{ mm}$, $z_{bu} = 56.9 \text{ mm}$

$N_{R,c} = (N_d \cdot z_{bo} + M_d) / z = 77.05 \text{ kN}$, $z = z_{eq} = 72.7 \text{ mm}$, $z_{bo} = 15.8 \text{ mm}$

Drucksteife (unten)

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

Die Schweißnähte werden mit dem vereinfachten Verfahren nachgewiesen.

Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

$b_R = b_{st} = 29.8 \text{ mm}$, $b_1 = b_R - r_R = 19.3 \text{ mm}$, $e_F = b_R - 0.5 \cdot b_1 = 20.2 \text{ mm}$ mit $r_R = 10.5 \text{ mm}$

dreiseitiger Rippenanschluss:

$l_R = l_{st} = 107.4 \text{ mm}$, $l_1 = l_R - 2 \cdot r_R = 86.4 \text{ mm}$, $e_H = l_R = 107.4 \text{ mm}$, $t_R = 8.0 \text{ mm}$

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

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet:

Q-Klasse 1 für $\alpha = 1.000$, $c/t = 3.73$ (einseitig gestützt) $< 9.00 \cdot \epsilon = 9.00 \leq 3$ ok

Querschnitt am Flansch

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

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

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

Querschnitt am Steg

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

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

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

Schweißnähte am Flansch

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

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 831.38 \text{ kN/m}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 4.0 \text{ mm}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + H^2)^{1/2} / (2 \cdot b_1) = 723.51 \text{ kN/m}$

75% Spannungsabtrag über Druckkontakt

$F_{Ed} = 180.88 \text{ kN/m} < F_{Rd} = 831.38 \text{ kN/m} \Rightarrow U = 0.218 < 1$ **ok**

Schweißnähte am Steg

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

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

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

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 831.38 \text{ kN/m}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 4.0 \text{ mm}$

dreiseitiger Rippenanschluss:

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

75% Spannungsabtrag über Druckkontakt

$F_{Ed} = 39.71 \text{ kN/m} < F_{Rd} = 831.38 \text{ kN/m} \Rightarrow U = 0.048 < 1$ **ok**

Zugsteife (oben)

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

Die Schweißnähte werden mit dem vereinfachten Verfahren nachgewiesen.

Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

$b_R = b_{st} = 29.8 \text{ mm}$, $b_1 = b_R - r_R = 19.3 \text{ mm}$, $e_F = b_R - 0.5 \cdot b_1 = 20.2 \text{ mm}$ mit $r_R = 10.5 \text{ mm}$

dreiseitiger Rippenanschluss:

$l_R = l_{st} = 107.4 \text{ mm}$, $l_1 = l_R - 2 \cdot r_R = 86.4 \text{ mm}$, $e_H = l_R = 107.4 \text{ mm}$, $t_R = 8.0 \text{ mm}$

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

Querschnitt am Flansch

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

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

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

Querschnitt am Steg

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

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

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

Schweißnähte am Flansch

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

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 831.38 \text{ kN/m}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 4.0 \text{ mm}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + H^2)^{1/2} / (2 \cdot b_1) = 723.51 \text{ kN/m}$

$F_{Ed} = 723.51 \text{ kN/m} < F_{Rd} = 831.38 \text{ kN/m} \Rightarrow U = 0.870 < 1$ **ok**

Schweißnähte am Steg

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

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

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

Tragfähigkeit einer Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 831.38 \text{ kN/m}$, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 4.0 \text{ mm}$

dreiseitiger Rippenanschluss:

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

$F_{Ed} = 158.85 \text{ kN/m} < F_{Rd} = 831.38 \text{ kN/m} \Rightarrow U = 0.191 < 1$ **ok**

2.1.2.5.4. Nachweisergebnis

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

Versagen beim Nachweis für Biegung: $U = 1.339$

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

2.1.3. Endergebnis

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

2.2. Ermüdung der Verbindung Konsole-Stütze (GZE)

Umrechnung Knotenschnittgrößen -> Konsollasten

Momentenfehler $\Delta M_{Ed} = M_{j,b,Ed} + F_{Ed} \cdot \Delta a - H_{Ed} \cdot \Delta h$ mit $\Delta a = 200.0 \text{ mm}$, $\Delta h = 60.0 \text{ mm}$

$F_{1,Ed} = 5.00 \text{ kN}$

$F_{2,Ed} = 15.00 \text{ kN}$

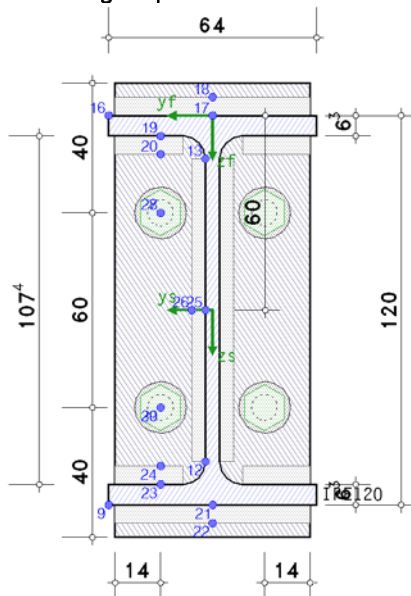
Bemessungsgrößen

$M_{y1,Ed} = -0.70 \text{ kNm}$, $V_{z1,Ed} = 5.00 \text{ kN}$

$M_{y2,Ed} = -2.10 \text{ kNm}$, $V_{z2,Ed} = 15.00 \text{ kN}$

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

2.2.1. Eingabeprotokoll



Stahlsorte

Stahlgüte S235, Rechenparameter:

char. Streckgrenze $f_{y,t \leq 40\text{mm}} = 235.0 \text{ N/mm}^2$, $f_{y,t \leq 80\text{mm}} = 215.0 \text{ N/mm}^2$, $f_{y,t > 80\text{mm}} = 215.0 \text{ N/mm}^2$

char. Zugfestigkeit $f_{u,t \leq 40\text{mm}} = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $f_{u,t \leq 80\text{mm}} = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $f_{u,t > 80\text{mm}} = 360.0 \text{ N/mm}^2$

Elastizitätsmodul $E = 210000.0 \text{ N/mm}^2$

Querschnitt

Träger: Profil IPE120

Gesamthöhe $h = 120.0 \text{ mm}$, Stegdicke $t_w = 4.4 \text{ mm}$

Flanschbreite $b_f = 64.0 \text{ mm}$, Flanschdicke $t_f = 6.3 \text{ mm}$, gewalzt mit $r = 7.0 \text{ mm}$

gewalztes Profil, Ausrundungsradius $r = 7.0 \text{ mm}$

Steghöhe ohne Ausrundung/Schweißnaht $d_w = 93.4 \text{ mm}$

Breite einer Flanschseite ohne Ausrundung/Schweißnaht $c_f = 22.8 \text{ mm}$

Schwerpunktabstand von oben $z_s = 60.0 \text{ mm}$

Querschnittsfläche $A = 13.21 \text{ cm}^2$, Umfang $U = 47.52 \text{ cm}$

Flächenträgheitsmomente $I_y = 317.75 \text{ cm}^4$, $I_z = 27.66 \text{ cm}^4$

plastische Widerstandsmomente $W_{pl,y} = 60.72 \text{ cm}^3$, $W_{pl,z} = 13.57 \text{ cm}^3$

wirksame Schubflächen $A_{vy} = 8.06 \text{ cm}^2$, $A_{vz} = 6.31 \text{ cm}^2$

Torsionsträgheitsmoment $I_T = 1.81 \text{ cm}^4$

Parameter

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

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

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

°: Nachweis der Schweißnaht, x: Nachweis der Schraube

Belastung

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

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

Materialsicherheitsbeiwert

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

2.2.2. Ermüdungsnachweis

Schraubenabstände am Stirnblech

horizontal: $e_2 = 14.0 \text{ mm} > 1.5 \cdot d_0 = 13.5 \text{ mm}$
horizontal: $p_2 = 32.0 \text{ mm} > 2.5 \cdot d_0 = 22.5 \text{ mm}$
vertikal: $e_1 = 40.0 \text{ mm} > 1.5 \cdot d_0 = 13.5 \text{ mm}$
vertikal: $p_1 = 60.0 \text{ mm} > 2.5 \cdot d_0 = 22.5 \text{ mm}$
vertikal: $e_1 = 40.0 \text{ mm} > 1.5 \cdot d_0 = 13.5 \text{ mm}$

Querschnittswerte

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

Spannungen in den Schrauben:

$N_{Ed} = -0.00 \text{ kN}$, $M_{y,Ed} = -0.70 \text{ kNm}$

Reihe 1: $\Delta z_1 = 86.9 \text{ mm}$, $F_{sc,1} = 4.70 \text{ kN}$, $\sigma = 64.24 \text{ N/mm}^2$, $\tau = 24.87 \text{ N/mm}^2$

Reihe 2: $\Delta z_2 = 26.9 \text{ mm}$, $F_{sc,2} = 1.45 \text{ kN}$, $\sigma = 19.86 \text{ N/mm}^2$, $\tau = 24.87 \text{ N/mm}^2$

$N_{Ed} = -0.00 \text{ kN}$, $M_{y,Ed} = -2.10 \text{ kNm}$

Reihe 1: $\Delta z_1 = 86.9 \text{ mm}$, $F_{sc,1} = 14.11 \text{ kN}$, $\sigma = 192.73 \text{ N/mm}^2$, $\tau = 74.60 \text{ N/mm}^2$

Reihe 2: $\Delta z_2 = 26.9 \text{ mm}$, $F_{sc,2} = 4.36 \text{ kN}$, $\sigma = 59.58 \text{ N/mm}^2$, $\tau = 74.60 \text{ N/mm}^2$

Spannungen im Stirnblech (Bruttoquerschnitt):

$N_{Ed} = -0.00 \text{ kN}$, $M_{y,Ed} = -0.70 \text{ kNm}$: $\sigma = 8.33 \text{ N/mm}^2$

$N_{Ed} = -0.00 \text{ kN}$, $M_{y,Ed} = -2.10 \text{ kNm}$: $\sigma = 25.00 \text{ N/mm}^2$

elastische Spannungen / Spannungsschwingbreiten

$\Delta\sigma_{x,Ed} = \sigma_{x,max} - \sigma_{x,min}$, $\tau_{xz,Ed} = \tau_{xz,max} - \tau_{xz,min}$

Pkt. 9: $y_f = 32.0 \text{ mm}$, $z_f = 120.0 \text{ mm}$	Lk 1: $\sigma_x = -13.2 \text{ N/mm}^2$ 2: $\sigma_x = -39.7 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{x,Ed} = 26.4 \text{ N/mm}^2$	
12: $y_f = 2.2 \text{ mm}$, $z_f = 106.7 \text{ mm}$	Lk 1: $\sigma_x = -10.3 \text{ N/mm}^2$ 2: $\sigma_x = -30.9 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{x,Ed} = 20.6 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{xz} = 9.1 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{xz} = 27.4 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\tau_{Ed} = 18.2 \text{ N/mm}^2$
13: $y_f = 2.2 \text{ mm}$, $z_f = 13.3 \text{ mm}$	Lk 1: $\sigma_x = 10.3 \text{ N/mm}^2$ 2: $\sigma_x = 30.9 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{x,Ed} = 20.6 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{xz} = 9.1 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{xz} = 27.4 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\tau_{Ed} = 18.2 \text{ N/mm}^2$
16: $y_f = 32.0 \text{ mm}$, $z_f = 0.0 \text{ mm}$	Lk 1: $\sigma_x = 13.2 \text{ N/mm}^2$ 2: $\sigma_x = 39.7 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{x,Ed} = 26.4 \text{ N/mm}^2$	
17: $y_f = 0.0 \text{ mm}$, $z_f = 0.0 \text{ mm}$	Lk 1: $\sigma_x = 14.6 \text{ N/mm}^2$ 2: $\sigma_x = 43.8 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{x,Ed} = 29.2 \text{ N/mm}^2$	
18: $y_f = 0.0 \text{ mm}$, $z_f = -5.7 \text{ mm}$	Lk 1: $\sigma_x = 14.5 \text{ N/mm}^2$ 2: $\sigma_x = 43.4 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{x,Ed} = 28.9 \text{ N/mm}^2$	
19: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 6.3 \text{ mm}$	Lk 1: $\sigma_x = 13.1 \text{ N/mm}^2$ 2: $\sigma_x = 39.2 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{x,Ed} = 26.2 \text{ N/mm}^2$	
20: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 12.0 \text{ mm}$	Lk 1: $\sigma_x = 10.6 \text{ N/mm}^2$ 2: $\sigma_x = 31.8 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{x,Ed} = 21.2 \text{ N/mm}^2$	
21: $y_f = 0.0 \text{ mm}$, $z_f = 120.0 \text{ mm}$	Lk 1: $\sigma_x = -14.6 \text{ N/mm}^2$ 2: $\sigma_x = -43.8 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{x,Ed} = 29.2 \text{ N/mm}^2$	
22: $y_f = 0.0 \text{ mm}$, $z_f = 125.7 \text{ mm}$	Lk 1: $\sigma_x = -14.5 \text{ N/mm}^2$ 2: $\sigma_x = -43.4 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{x,Ed} = 28.9 \text{ N/mm}^2$	
23: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 113.7 \text{ mm}$	Lk 1: $\sigma_x = -13.1 \text{ N/mm}^2$ 2: $\sigma_x = -39.2 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{x,Ed} = 26.2 \text{ N/mm}^2$	
24: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 108.0 \text{ mm}$	Lk 1: $\sigma_x = -10.6 \text{ N/mm}^2$ 2: $\sigma_x = -31.8 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{x,Ed} = 21.2 \text{ N/mm}^2$	
25: $y_f = 2.2 \text{ mm}$, $z_f = 60.0 \text{ mm}$	Lk 1: $\sigma_x = -0.0 \text{ N/mm}^2$ 2: $\sigma_x = -0.0 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{xz} = 9.1 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{xz} = 27.4 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\tau_{Ed} = 18.3 \text{ N/mm}^2$
26: $y_f = 6.4 \text{ mm}$, $z_f = 60.0 \text{ mm}$	Lk 1: 2:	$\tau_{xz} = 10.9 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{xz} = 32.6 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\tau_{Ed} = 21.7 \text{ N/mm}^2$
27: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 30.0 \text{ mm}$	Lk 1: $\sigma_x = 64.2 \text{ N/mm}^2$ 2: $\sigma_x = 192.7 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{x,Ed} = 128.5 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{xz} = 24.9 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{xz} = 74.6 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\tau_{Ed} = 49.7 \text{ N/mm}^2$
28: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 30.0 \text{ mm}$	Lk 1: $\sigma_x = 8.3 \text{ N/mm}^2$ 2: $\sigma_x = 25.0 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{x,Ed} = 16.7 \text{ N/mm}^2$	

29: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 90.0 \text{ mm}$

Lk 1: $\sigma_x = 19.9 \text{ N/mm}^2$

$\tau_{xz} = 24.9 \text{ N/mm}^2$

2: $\sigma_x = 59.6 \text{ N/mm}^2$

$\tau_{xz} = 74.6 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\sigma_{x,Ed} = 39.7 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\tau_{Ed} = 49.7 \text{ N/mm}^2$

30: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 90.0 \text{ mm}$

Lk 1: $\sigma_x = 8.3 \text{ N/mm}^2$

2: $\sigma_x = 25.0 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\sigma_{x,Ed} = 16.7 \text{ N/mm}^2$

Spannungsschwingbreiten infolge Ermüdung

$$\Delta\sigma_{x,f} = \Delta\sigma_{x,Ed} \lambda_{\sigma}, \quad \Delta\tau_f = \Delta\tau_{Ed} \lambda_{\tau}$$

Pkt. 9: $y_f = 32.0 \text{ mm}$, $z_f = 120.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 26.4 \text{ N/mm}^2$

12: $y_f = 2.2 \text{ mm}$, $z_f = 106.7 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 20.6 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\tau_f = 18.2 \text{ N/mm}^2$

13: $y_f = 2.2 \text{ mm}$, $z_f = 13.3 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 20.6 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\tau_f = 18.2 \text{ N/mm}^2$

16: $y_f = 32.0 \text{ mm}$, $z_f = 0.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 26.4 \text{ N/mm}^2$

17: $y_f = 0.0 \text{ mm}$, $z_f = 0.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 29.2 \text{ N/mm}^2$

18: $y_f = 0.0 \text{ mm}$, $z_f = -5.7 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 28.9 \text{ N/mm}^2$

19: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 6.3 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 26.2 \text{ N/mm}^2$

20: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 12.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 21.2 \text{ N/mm}^2$

21: $y_f = 0.0 \text{ mm}$, $z_f = 120.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 29.2 \text{ N/mm}^2$

22: $y_f = 0.0 \text{ mm}$, $z_f = 125.7 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 28.9 \text{ N/mm}^2$

23: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 113.7 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 26.2 \text{ N/mm}^2$

24: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 108.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 21.2 \text{ N/mm}^2$

25: $y_f = 2.2 \text{ mm}$, $z_f = 60.0 \text{ mm}$

$\Delta\tau_f = 18.3 \text{ N/mm}^2$

26: $y_f = 6.4 \text{ mm}$, $z_f = 60.0 \text{ mm}$

$\Delta\tau_f = 21.7 \text{ N/mm}^2$

27: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 30.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 128.5 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\tau_f = 49.7 \text{ N/mm}^2$

28: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 30.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 16.7 \text{ N/mm}^2$

29: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 90.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 39.7 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\tau_f = 49.7 \text{ N/mm}^2$

30: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 90.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 16.7 \text{ N/mm}^2$

zul. Kerbspannungen

$$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = \Delta\sigma_{x,Rd}/\gamma_{Mf}, \quad \Delta\tau_{Rd,f} = \Delta\tau_{Rd}/\gamma_{Mf}$$

Pkt. 9: $y_f = 32.0 \text{ mm}$, $z_f = 120.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 139.1 \text{ N/mm}^2$

12: $y_f = 2.2 \text{ mm}$, $z_f = 106.7 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 139.1 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\tau_{Rd,f} = 87.0 \text{ N/mm}^2$

13: $y_f = 2.2 \text{ mm}$, $z_f = 13.3 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 139.1 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\tau_{Rd,f} = 87.0 \text{ N/mm}^2$

16: $y_f = 32.0 \text{ mm}$, $z_f = 0.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 139.1 \text{ N/mm}^2$

17: $y_f = 0.0 \text{ mm}$, $z_f = 0.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 31.3 \text{ N/mm}^2$

18: $y_f = 0.0 \text{ mm}$, $z_f = -5.7 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 69.6 \text{ N/mm}^2$

19: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 6.3 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 31.3 \text{ N/mm}^2$

20: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 12.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 69.6 \text{ N/mm}^2$

21: $y_f = 0.0 \text{ mm}$, $z_f = 120.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 31.3 \text{ N/mm}^2$

22: $y_f = 0.0 \text{ mm}$, $z_f = 125.7 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 69.6 \text{ N/mm}^2$

23: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 113.7 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 31.3 \text{ N/mm}^2$

24: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 108.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 69.6 \text{ N/mm}^2$

25: $y_f = 2.2 \text{ mm}$, $z_f = 60.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 31.3 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\tau_{Rd,f} = 69.6 \text{ N/mm}^2$

26: $y_f = 6.4 \text{ mm}$, $z_f = 60.0 \text{ mm}$

$\Delta\tau_{Rd,f} = 87.0 \text{ N/mm}^2$

27: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 30.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 43.5 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\tau_{Rd,f} = 87.0 \text{ N/mm}^2$

28: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 30.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 78.3 \text{ N/mm}^2$

29: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 90.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 43.5 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\tau_{Rd,f} = 87.0 \text{ N/mm}^2$

30: $y_f = 16.0 \text{ mm}$, $z_f = 90.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 78.3 \text{ N/mm}^2$

Nachweis der Kerbspannungen

Pkt. 9: $y = 32.0 \text{ mm}$, $z = 120.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 26.4 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 139.1 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.190$ ok

12: $y = 2.2 \text{ mm}$, $z = 106.7 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 20.6 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 139.1 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.148$ ok

$\Delta\tau_f = 18.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{Rd,f} = 87.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\tau} = 0.210$ ok

Interaktion $U_i = U_{\Delta\sigma x}^3 + U_{\Delta\tau}^5 = 0.004 < 1$ ok

13: $y = 2.2 \text{ mm}$, $z = 13.3 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 20.6 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 139.1 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.148$ ok

$\Delta\tau_f = 18.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{Rd,f} = 87.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\tau} = 0.210$ ok

Interaktion $U_i = U_{\Delta\sigma x}^3 + U_{\Delta\tau}^5 = 0.004 < 1$ ok

16: $y = 32.0 \text{ mm}$, $z = 0.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 26.4 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 139.1 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.190$ ok

17: $y = 0.0 \text{ mm}$, $z = 0.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 29.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 31.3 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.933$ ok

18: $y = 0.0 \text{ mm}$, $z = -5.7 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 28.9 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 69.6 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.416$ ok

19: $y = 16.0 \text{ mm}$, $z = 6.3 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 26.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 31.3 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.835$ ok

20: $y = 16.0 \text{ mm}$, $z = 12.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 21.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 69.6 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.304$ ok

21: $y = 0.0 \text{ mm}$, $z = 120.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 29.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 31.3 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.933$ ok

22: $y = 0.0 \text{ mm}$, $z = 125.7 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 28.9 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 69.6 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.416$ ok

23: $y = 16.0 \text{ mm}$, $z = 113.7 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 26.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 31.3 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.835$ ok

24: $y = 16.0 \text{ mm}$, $z = 108.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 21.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 69.6 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.304$ ok

25: $y = 2.2 \text{ mm}$, $z = 60.0 \text{ mm}$

$\Delta\tau_f = 18.3 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{Rd,f} = 69.6 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\tau} = 0.263$ ok

26: $y = 6.4 \text{ mm}$, $z = 60.0 \text{ mm}$

$\Delta\tau_f = 21.7 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{Rd,f} = 87.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\tau} = 0.250$ ok

27: $y = 16.0 \text{ mm}$, $z = 30.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 128.5 \text{ N/mm}^2 > \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 43.5 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 2.955$ nicht ok !!

$\Delta\tau_f = 49.7 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{Rd,f} = 87.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\tau} = 0.572$ ok

28: $y = 16.0 \text{ mm}$, $z = 30.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 16.7 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 78.3 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.213$ ok

29: $y = 16.0 \text{ mm}$, $z = 90.0 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,f} = 39.7 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 43.5 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.914$ ok

$\Delta\tau_f = 49.7 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{Rd,f} = 87.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\tau} = 0.572$ ok

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

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

Querbelastrung auf dem Obergurt:

vertikale Einzellast $F_{z,Ed} = 15.0 \text{ kN}$, Lasteinleitungslänge $s_s = 30.0 \text{ mm}$

Materialsicherheitsbeiwert

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

2.3.2. Ermüdungsnachweis

Querschnittswerte

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

wirksame Lasteinleitungslänge $l_{eff} = s_s + 2 \cdot t_f = 42.6 \text{ mm}$, $s_s = 30.0 \text{ mm}$, $t_f = 6.3 \text{ mm}$

wirksame Lasteinleitungslänge bezogen ...

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

lokale Spannungen ...

... am Trägersteg $\sigma_{oz} = -60.2 \text{ N/mm}^2$, $\tau_o = 12.0 \text{ N/mm}^2$

elastische Spannungen / Spannungsschwingbreiten

$\Delta\sigma_{x,Ed} = \sigma_{x,max} - \sigma_{x,min}$, $\tau_{Ed} = \tau_{xz,max} - \tau_{xz,min} + 2 \cdot \tau_o$, $\Delta\sigma_{z,Ed} = -\sigma_{oz}$

Pkt. 13: $y_f = 2.2 \text{ mm}$, $z_f = 13.3 \text{ mm}$

Lk 1: $\tau_{xz} = 9.1 \text{ N/mm}^2$

2: $\tau_{xz} = 27.4 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\tau_{Ed} = 42.3 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\sigma_{z,Ed} = 60.2 \text{ N/mm}^2$

Spannungsschwingbreiten infolge Ermüdung

$\Delta\sigma_{x,f} = \Delta\sigma_{x,Ed} \cdot \lambda_\sigma$, $\Delta\tau_f = \Delta\tau_{Ed} \cdot \lambda_\tau$, $\Delta\sigma_{z,f} = \Delta\sigma_{z,Ed} \cdot \lambda_\sigma$

Pkt. 13: $y_f = 2.2 \text{ mm}$, $z_f = 13.3 \text{ mm}$

$\Delta\tau_f = 42.3 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\sigma_{z,f} = 60.2 \text{ N/mm}^2$

zul. Kerbspannungen

$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = \Delta\sigma_{x,Rd} / \gamma_{Mf}$, $\Delta\tau_{Rd,f} = \Delta\tau_{Rd} / \gamma_{Mf}$, $\Delta\sigma_{z,Rd,f} = \Delta\sigma_{z,Rd} / \gamma_{Mf}$

Pkt. 9: $y_f = 32.0 \text{ mm}$, $z_f = 120.0 \text{ mm}$

13: $y_f = 2.2 \text{ mm}$, $z_f = 13.3 \text{ mm}$

$\Delta\tau_{Rd,f} = 87.0 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\sigma_{z,Rd,f} = 139.1 \text{ N/mm}^2$

16: $y_f = 32.0 \text{ mm}$, $z_f = 0.0 \text{ mm}$

Nachweis der Kerbspannungen

Pkt. 13: $y = 2.2 \text{ mm}$, $z = 13.3 \text{ mm}$

$\Delta\tau_f = 42.3 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{Rd,f} = 87.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\tau} = 0.487$ ok

$\Delta\sigma_{z,f} = 60.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{z,Rd,f} = 139.1 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma z} = 0.433$ ok

2.3.3. Endergebnis

Ermüdungsnachweis [Pkt. 13]: $\max U = 0.487 < 1$ ok

3. Endergebnis

Maximale Ausnutzung:

$\max U = 2.955 > 1$ nicht ok !!

Ermüdung der Verbindung / des Profils

Tragfähigkeit nicht gewährleistet !!

4. Ausgewählte Bemessungsparameter des nationalen Anhangs

EN 1993-1-1 (EC 3, Hochbau), NA Deutschland

Kapitel	Wert	Bedeutung
6.1(1)	$\gamma_{M0} = 1.00$ $\gamma_{M1} = 1.10$ $\gamma_{M2} = 1.25$	Teilsicherheitsbeiwerte für Baustahl Querschnittsversagen Stabilitätsversagen Bruchversagen infolge Zug bzw. Beanspruchbarkeit von Schrauben, Schweißnähten, Blechen auf Lochleibung

EN 1993-1-9 (EC 3, Ermüdung), NA Deutschland

Kapitel	Wert	Bedeutung
3(7)	Schadensfolgen niedrig hoch $\gamma_{Mf} = 1.00$ $\gamma_{Mf} = 1.15$ $\gamma_{Mf} = 1.15$ $\gamma_{Mf} = 1.35$	Teilsicherheitsbeiwert für Ermüdung Schadenstoleranz Versagen ohne Vorankündigung

5. Vorschriften

EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung;

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

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

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

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

Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009, Ausgabe Dezember 2010

EN 1993-1-1/A1, Ergänzungen zur EN 1993-1-1, Ausgabe Juli 2014

EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-1, Ausgabe Dezember 2018

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

Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen;

Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009, Ausgabe Dezember 2010

EN 1993-1-8/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-8, Ausgabe Dezember 2010

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

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

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