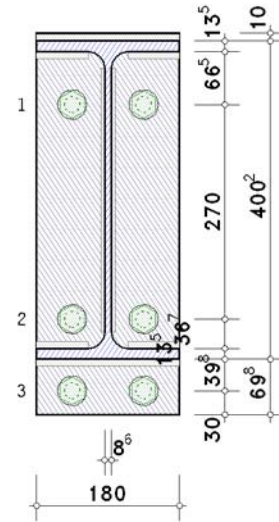
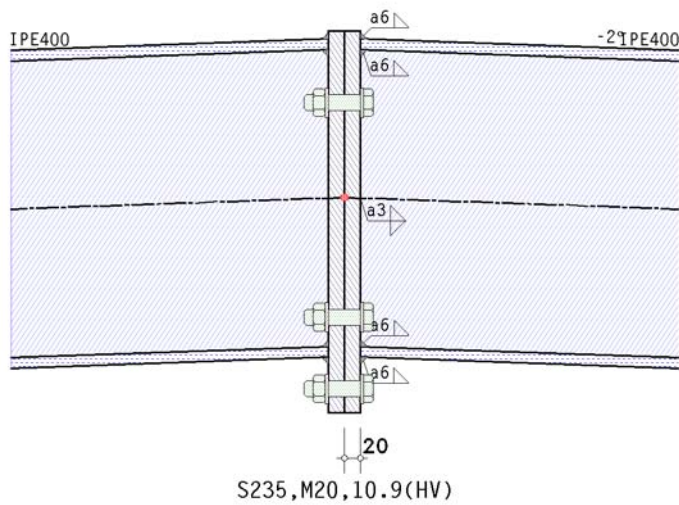
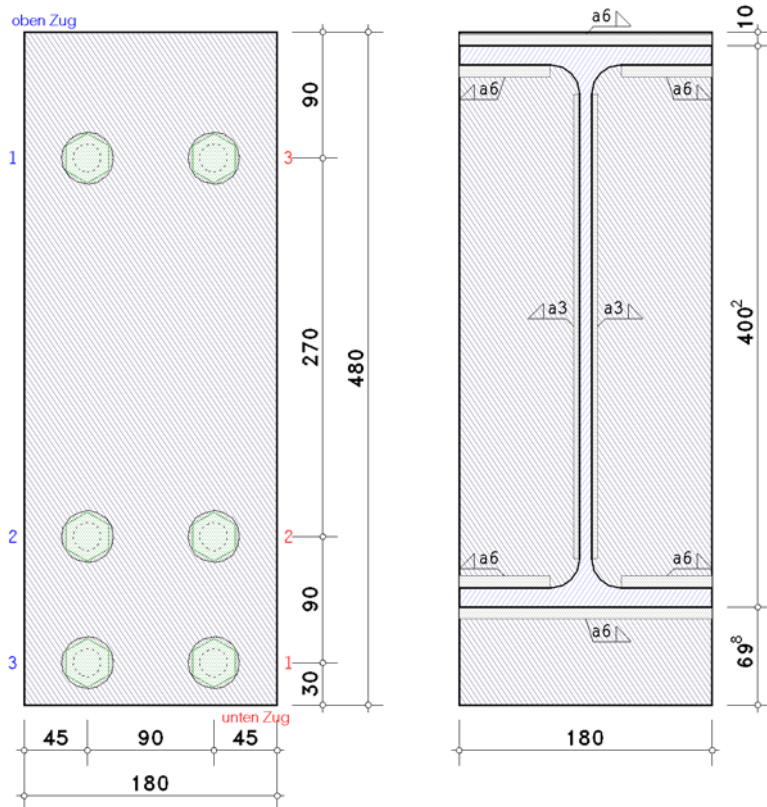


Biegesteifer Trägerstoß EC 3-1-8 (12.10), NA: Deutschland

1. Eingabeprotokoll



Details (Schnitt A - A)



Stahlsorte

Stahlgüte S235

Schrauben

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M20

große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt (zur Info: Regelvorspannkraft $F_{p,c^*} = 0.7 \cdot f_{yb} \cdot A_s = 154.3 \text{ kN}$)

Schaft in der Scherfuge

Parameter des Trägers

Profil IPE400

Neigungswinkel des Profils gegen die Horizontale $\alpha_b = -2.00^\circ$

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss:

Dicke $t_p = 20.0 \text{ mm}$, Breite $b_p = 180.0 \text{ mm}$, Länge $l_p = 480.0 \text{ mm}$

Überstände $h_{p,o} = 10.0 \text{ mm}$, $h_{p,u} = 69.8 \text{ mm}$

Schrauben im Anschluss:

3 Schraubenreihen mit je 2 Schrauben

davon 1 Schraubenreihe oben unter Zugbelastung (Reihe 1)

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

davon 2 Schraubenreihen unten unter Zugbelastung (Reihen 2-3)

und 1 Schraubenreihe zur Querkraftübertragung unten (Reihe 3)

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

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 90.0 \text{ mm}$

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 30.0 \text{ mm}$

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 270.0 \text{ mm}$, $p_{2-3} = 90.0 \text{ mm}$

Schweißnähte im Anschluss:

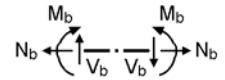
Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 6.0 \text{ mm}$, Öffnungswinkel $\varphi = 92^\circ$

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

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 6.0 \text{ mm}$, Öffnungswinkel $\varphi = 88^\circ$

Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen

Lk 1: $N_{j,b,Ed} = -30.10 \text{ kN}$ $M_{j,b,Ed} = 184.50 \text{ kNm}$ $V_{j,b,Ed} = 0.80 \text{ kN}$



Materialsicherheitsbeiwerte

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

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

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

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

Datencheck

ok

Abstände der Schraubenreihen am Stirnblech

horizontal: $e_2 = 45.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm}$,

$e_2 = 45.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 120.0 \text{ mm}$

horizontal: $p_2 = 90.0 \text{ mm} > 2.4 \cdot d_0 = 52.8 \text{ mm}$,

$p_2 = 90.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$

vertikal: $e_1 = 90.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm}$,

$e_1 = 90.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 120.0 \text{ mm}$

vertikal: $p_1 = 270.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 48.4 \text{ mm}$,

$p_1 = 270.0 \text{ mm} > \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm} \quad !!$

vertikal: $p_1 = 90.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 48.4 \text{ mm}$,

$p_1 = 90.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$

vertikal: $e_1 = 30.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm}$,

$e_1 = 30.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 120.0 \text{ mm}$

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

Hinweise

Es sind einzelne Grundkomponenten ausgewählt, die ggf. die Gesamttragfähigkeit der Verbindung nicht gewährleisten.

Die Querschnittsprofile werden nicht nachgewiesen.

Die Schweißnähte der Verbindung werden nicht nachgewiesen.

2. Lk 1

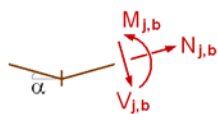
Hinweise

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

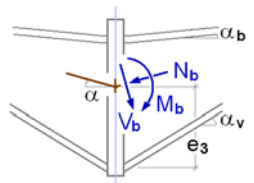
Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

2.1. Bemessungsgrößen

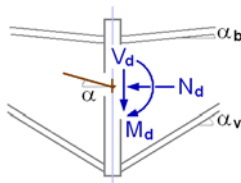
Knotenschnittgrößen
Knotenschnittgrößen



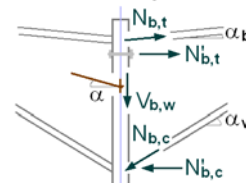
Anschnitt Anschluss
Anschnitt Anschluss



⊥ zur Anschlussebene
⊥ zur Anschlussebene



Teilschnittgrößen
Teilschnittgrößen



Vorzeichendefinition der Statik: eine positive Normalkraft bedeutet Zug, ein positives Moment erzeugt unten Zug
⇒ Transformation nach EC3: eine positive Normalkraft bedeutet Druck, ein positives Moment erzeugt oben Zug

Neigungswinkel: $\alpha_b = \alpha_v = \alpha = -2.00^\circ$

Transformation Statik-KoS -> EC3-KoS

$N_{j,b,Ed} = 30.10 \text{ kN}$, $M_{j,b,Ed} = -184.50 \text{ kNm}$, $V_{j,b,Ed} = 0.80 \text{ kN}$

Transformation Knotengrößen -> Anschlussgrößen

$N_{b,Ed} = 30.10 \text{ kN}$, $M_{b,Ed} = -184.50 \text{ kNm}$, $V_{b,Ed} = 0.80 \text{ kN}$

Transformation Anschlussgrößen -> Bemessungsgrößen

$N_d = 30.11 \text{ kN}$, $M_d = -184.50 \text{ kNm}$, $V_d = -0.25 \text{ kN}$

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger

$N_d = 30.11 \text{ kN}$, $M_d = -184.50 \text{ kNm}$, $V_d = -0.25 \text{ kN}$

negatives Biegemoment $M_d \Rightarrow$ Modell wird gespiegelt ($\alpha_b = \alpha_v = \alpha = 2.00^\circ$)

$N_d = 30.11 \text{ kN}$, $M_d = 184.50 \text{ kNm}$, $V_d = 0.25 \text{ kN}$

Teilschnittgrößen bezogen auf das gespiegelte Modell

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d + N_d \cdot t_{ep} \cdot \tan(\alpha) - V_d \cdot t_{ep} = 184.52 \text{ kNm}$

$N_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b) / \cos(\alpha_b) = 462.34 \text{ kN}$, $z_b = 386.7 \text{ mm}$, $z_{bu} = 193.4 \text{ mm}$

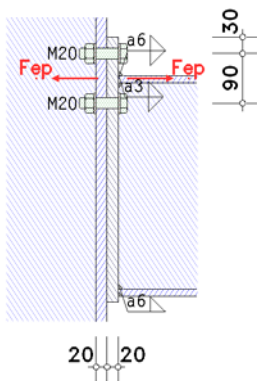
$$N_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo} / z_b + M'_d / z_b) / \cos(\alpha_b) = 492.47 \text{ kN}, \quad z_b = 386.7 \text{ mm}, \quad z_{bo} = 193.4 \text{ mm}$$

$$V_{b,w} = V_d + N_{b,c} \cdot \sin(\alpha_v) = 1.30 \text{ kN}$$

2.2. Grundkomponenten

Trägerstoß mit Stirnblech: gewählte Grundkomponente(n): 5

2.2.1. Gk 5: Stirnblech mit Biegung



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

Überstehender Teil des Stirnblechs

Im überstehenden Teil des Stirnblechs wird nur eine Schraubenreihe ($n_b = 1$) betrachtet.

Abstand der Schraubenachse vom Trägerflansch $m_1 = 33.0 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech)

$e_x = e_1 = 30.0 \text{ mm}$, $m_x = m_1 = 33.0 \text{ mm}$, $w = b_p - 2 \cdot e = 90.0 \text{ mm}$ mit $b_p = 180.0 \text{ mm}$, $e = 45.0 \text{ mm}$

äußere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch

$$l_{eff,cp,sa} = \min(2 \cdot \pi \cdot m_x, \pi \cdot m_x + w, \pi \cdot m_x + 2 \cdot e) = 193.6 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc,sa} = \min(4 \cdot m_x + 1.25 \cdot e_x, e + 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x, 0.5 \cdot b_p, 0.5 \cdot w + 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x) = 90.0 \text{ mm}$$

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 90.0 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 90.0 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$n = \min(e_{min}, 1.25 \cdot m) = 30.0 \text{ mm}$, $e_{min} = 30.0 \text{ mm}$, $m = 33.0 \text{ mm}$

aufnehmbare plastische Momente:

$$\text{für Modus 1+2: } M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 2.11 \text{ kNm}, \quad t_f = 20.0 \text{ mm}, \quad f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2, \quad \gamma_{M0} = 1.00$$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

$$\text{Zugtragfähigkeit einer Schraube: } F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.40 \text{ kN}, \quad k_2 = 0.90$$

$$\text{für Modus 3: } \Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}, \quad n_b = 1$$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf!

Berechnung mit dem alternativen Verfahren

maßgebender Durchmesser der Schraube $d_w = d_p = 37.00 \text{ mm} \Rightarrow e_w = d_w / 4 = 9.3 \text{ mm}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 335.61 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 235.34 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}$$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 235.34 \text{ kN}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 274.92 \text{ kN}$ ($\geq 235.34 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

Tragfähigkeit und effektive Länge eines Stirnblechs mit Biegung (Überstand)

$$F_{t,ep,Rd,1} = 235.34 \text{ kN}, \quad l_{eff,1} = 90.0 \text{ mm}$$

Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 2

Abstand der Schraubenachse von der Steife $m_2 = 29.9 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Flanschrand $e = 45.0 \text{ mm}$

Abstand der Schraubenachse vom Stummelsteg $m = 37.3 \text{ mm}$

Wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech)

innere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch

Beiwert für ausgesteifte Stützenflansche/Stirnbleche:

$$\text{Eingabewerte } \lambda_1 = m / (m+e) = 0.453, \quad \lambda_2 = m_2 / (m+e) = 0.364 \Rightarrow \alpha = 6.36 \text{ (berechnet)}$$

$$l_{eff,cp,si} = 2 \cdot \pi \cdot m = 234.4 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc,si} = \alpha \cdot m = 237.4 \text{ mm}$$

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 234.4 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 237.4 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs

$n = \min(e_{min}, 1.25 \cdot m) = 45.0 \text{ mm}$, $e_{min} = 45.0 \text{ mm}$, $m = 37.3 \text{ mm}$

aufnehmbare plastische Momente:

$$\text{für Modus 1: } M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.51 \text{ kNm}, \quad t_f = 20.0 \text{ mm}, \quad f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2, \quad \gamma_{M0} = 1.00$$

$$\text{für Modus 2: } M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.58 \text{ kNm}$$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.40 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}$, $n_b = 1$

Abstützkräfte treten bei vorgespannten Schrauben immer auf !

Berechnung mit dem alternativen Verfahren

maßgebender Durchmesser der Schraube $d_w = d_p = 37.00 \text{ mm} \Rightarrow e_w = d_w/4 = 9.3 \text{ mm}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 724.57 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 328.46 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 328.46 \text{ kN}$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 358.01 \text{ kN}$ ($\geq 328.46 \text{ kN}$, nicht maßgebend)

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

$F_{ep,Rd,2} = 328.46 \text{ kN}$, $l_{eff,2} = 234.4 \text{ mm}$

2.3. Anschlusstragfähigkeit

2.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 433.2 \text{ mm}$, $h_2 = 343.2 \text{ mm}$

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

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 235.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 328.5 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 235.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 328.5 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 563.8 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 235.3 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 328.5 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd} = 563.8 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 5

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$\Sigma F_{c,Rd}^* = 0.0 \text{ kN}$

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 214.7 \text{ kNm}$

Zugtragfähigkeit

$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 563.8 \text{ kN}$

2.4. Nachweise

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

$z = h_b + h_{po} - e_o - t_b \cdot f_u/2 - p_1 \cdot 2/2 = 388.2 \text{ mm}$

2.4.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Normalkraft: $N_{b,Ed} = |N_d \cdot \cos(\alpha) + V_d \cdot \sin(\alpha)| = 30.10 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 99.30 \text{ kN} \Rightarrow$ Biegetragfähigkeit

bzgl. der Trägerachse mit $N_{pl,Rd} = A_b \cdot f_{yb} / \gamma_{M0} = 1986.05 \text{ kN}$

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu} = 178.70 \text{ kNm}$, $z_{bu} = 192.7 \text{ mm}$

bzgl. des Druckpunkts

Biegetragfähigkeit

$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.832 < 1$ **ok**

2.4.2. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit Teilschnittgrößen

Zugkraft in den Schraubenreihen:

$N'_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu} + M_d) / z = 460.27 \text{ kN}$, $z = z_{eq} = 388.2 \text{ mm}$, $z_{bu} = 192.7 \text{ mm}$

Gk 5: $F_{Rd} = \Sigma F_{t,ep,Rd,i} = 553.0 \text{ kN}$, $F_{Ed} = N'_{b,t} = 460.27 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 460.3 \text{ kN} < F_{Rd} = 553.0 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.832 < 1$ **ok**

Ausnutzung Teilschnittgrößen $U_{Gk} = 0.832 < 1$ **ok**

2.4.3. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.832 < 1$ **ok**

3. Endergebnis

Ausnutzung der Verbindung

Lk	U_j	Gleichgewicht		
		ΣH kN	ΣV kN	ΣM kNm
1	0.832*	30.11	0.25	184.50

U_j : Ausnutzung der Verbindung; Gleichgewichtstoleranzen 1 kN / 1 kNm

*) maximale Ausnutzung

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.832 < 1$ **ok**

Nachweis erbracht