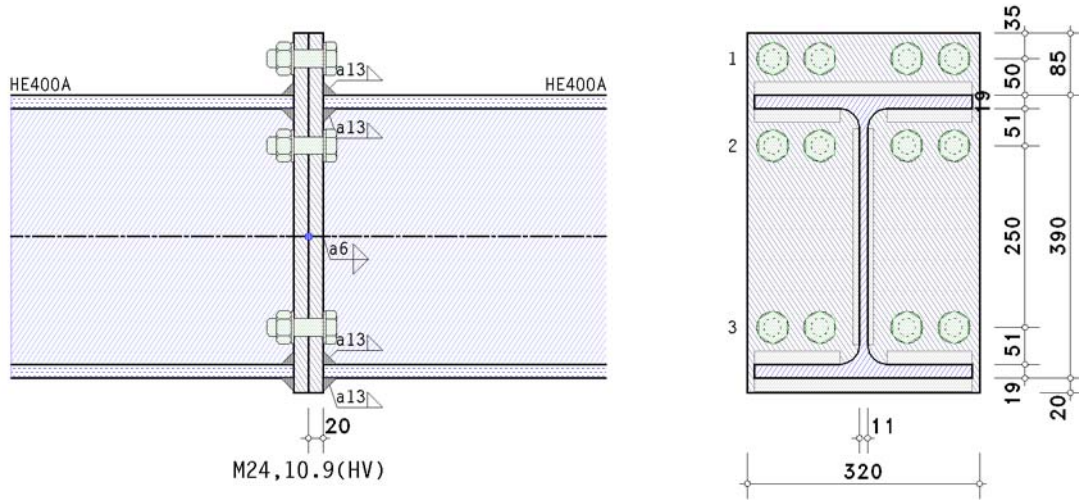
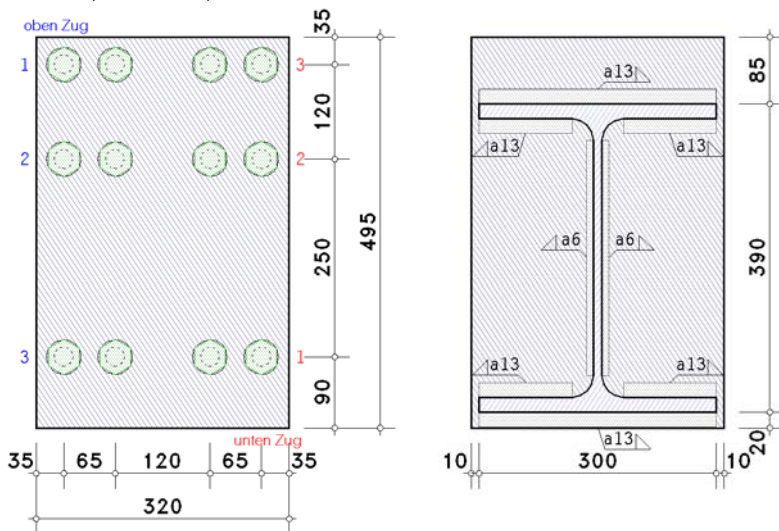


Biegesteifer Trägerstoß EC 3-1-8 (12.10), NA: Deutschland

1. Eingabeprotokoll



Details (Schnitt A - A)



Schrauben

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M24

große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt (zur Info: Regelvorspannkraft $F_{p,c^*} = 0.7 \cdot f_{yb} \cdot A_s = 222.4 \text{ kN}$)

Schaft in der Scherfuge

Parameter des Trägers

Profil HE400A, Stahlgüte S355

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss:

Dicke $t_p = 20.0 \text{ mm}$, Breite $b_p = 320.0 \text{ mm}$, Länge $l_p = 495.0 \text{ mm}$, Stahlgüte S235

Überstände $h_{p,o} = 85.0 \text{ mm}$, $h_{p,u} = 20.0 \text{ mm}$

Schrauben im Anschluss:

3 Schraubenreihen mit je 4 Schrauben

Reihe 1: 4 Schrauben, Reihe 2: 4 Schrauben, Reihe 3: 4 Schrauben

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

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

davon 1 Schraubenreihe unten unter Zugbelastung (Reihe 3)

und 1 Schraubenreihe zur Querkraftübertragung unten (Reihe 3)

Berechnungsmethode (4 Schrauben je Reihe) nach B. Schmidt, Dissertation, TU Dortmund

Achsabstand zwischen Außen- und Innenschraube $w_2 = 65.0 \text{ mm}$

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 35.0 \text{ mm}$

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 35.0 \text{ mm}$

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 90.0 \text{ mm}$

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 120.0 \text{ mm}$, $p_{2-3} = 250.0 \text{ mm}$

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 13.0 \text{ mm}$

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

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 13.0 \text{ mm}$

Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung bezogen auf die Systemachsen

Lk 1: $M_{b,Ed} = 460.00 \text{ kNm}$

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: $e_2 = 35.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,

horizontal: $p_2 = 65.0 \text{ mm} > 2.4 \cdot d_0 = 62.4 \text{ mm}$,

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

vertikal: $e_1 = 35.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,

vertikal: $p_1 = 120.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 57.2 \text{ mm}$,

vertikal: $p_1 = 250.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 57.2 \text{ mm}$,

vertikal: $e_1 = 90.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$,

$e_2 = 35.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 120.0 \text{ mm}$

$p_2 = 65.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$

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

$e_1 = 35.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 120.0 \text{ mm}$

$p_1 = 120.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm}$

$p_1 = 250.0 \text{ mm} > \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 200.0 \text{ mm} \quad !!$

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

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

Hinweise

Die Querschnittsprofile werden nicht nachgewiesen.

Die Schweißnähte der Verbindung werden nicht nachgewiesen.

2. Lk 1

Hinweise

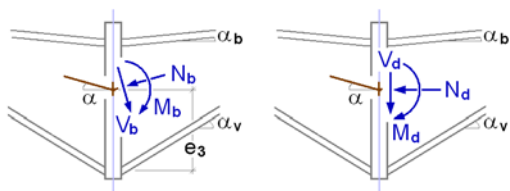
Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkkräfte.

Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

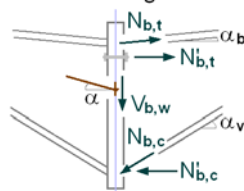
Schraubengruppen werden bei Anschlüssen mit 4 Schrauben je Reihe nicht untersucht.

2.1. Bemessungsgrößen

Anschnitt Anschluss $\perp$ zur Anschlussebene
Anschnitt Anschluss $\perp$ zur Anschlussebene



Teilschnittgrößen
Teilschnittgrößen



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

Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger

$M_d = 460.00 \text{ kNm}$

Teilschnittgrößen

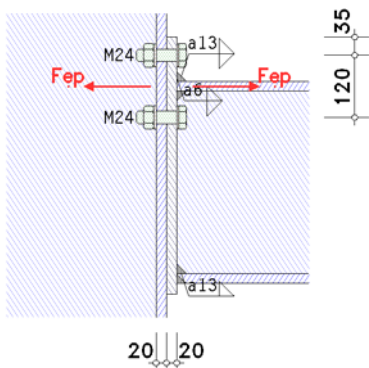
Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d - V_d \cdot t_{ep} = 460.00 \text{ kNm}$

$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b = 1239.89 \text{ kN}$, $z_b = 371.0 \text{ mm}$, $z_{bu} = 185.5 \text{ mm}$

$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b = 1239.89 \text{ kN}$, $z_b = 371.0 \text{ mm}$, $z_{bo} = 185.5 \text{ mm}$

2.2. Grundkomponenten

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.

IH4-Anschluss: Verbindungen mit 4 Schrauben je Schraubenreihe werden im EC 3-1-8 nicht behandelt. Die Bemessung erfolgt nach B. Schmidt, Dissertation, TU Dortmund.

Überstehender Teil des Stirnblechs

Im überstehenden Teil des Stirnblechs wird nur eine Schraubenreihe ($n_b = 1$) betrachtet (4 Schrauben je Reihe).

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 160.0 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 190.4 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 160.0 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 3.76 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 4 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 1016.64 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = (M_{pl,1,Rd} \cdot (4 \cdot e' / n)) / (m - ((m+n) \cdot e') / (2 \cdot n)) = 734.70 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 613.19 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 1016.64 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 613.19 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des Trägerflanschs: $\max F_{T,Rd} = (A_F \cdot f_{y,st}) / \gamma_{M0} = 2023.50 \text{ kN} > F_{T,Rd}$ **ok**

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 320.0 \text{ N/mm}^2$

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 941.30 \text{ kN} (\geq 613.19 \text{ kN}, \text{ nicht maßgebend})$

Tragfähigkeit und effektive Länge eines Stirnblechs mit Biegung (Überstand)

$F_{t,ep,Rd,1} = 613.19 \text{ kN}$, $l_{eff,1} = 160.0 \text{ mm}$

Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 2 (4 Schrauben je Reihe)

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 349.9 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 349.9 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 362.5 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1: $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 8.22 \text{ kNm}$

für Modus 2: $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 8.52 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 4 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 1016.64 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,F,Rd} = (M_{pl,1,Rd} \cdot \delta_F \cdot (4 \cdot e' / n_s)) / (m_s - ((m_s+n_s) \cdot e') / (2 \cdot n_s)) = 1159.91 \text{ kN}$

$F_{T,1,S,Rd} = (M_{pl,1,Rd} \cdot \delta_S \cdot (4 \cdot e' / n)) / (m - ((m+n) \cdot e') / (2 \cdot n)) = 181.57 \text{ kN}$

$F_{T,1,Rd} = F_{T,1,F,Rd} + F_{T,1,S,Rd} = 1341.48 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,F,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} \cdot \rho_{Fa} \cdot \delta_F + 2 \cdot n_s \cdot F_{t,Rd}) / (m_s+n_s) = 347.07 \text{ kN}$

$F_{T,2,S,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} \cdot (\rho_{Fi} \cdot \delta_F + \delta_S) + 2 \cdot n \cdot F_{t,Rd}) / (m+n) = 391.91 \text{ kN}$

$F_{T,2,Rd} = F_{T,2,F,Rd} + F_{T,2,S,Rd} = 738.97 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 1016.64 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 738.97 \text{ kN}$

$A_F = 0$: Die Kontrolle der Tragfähigkeit des Trägerflanschs und -stegs auf Zug kann nicht durchgeführt werden!

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 320.0 \text{ N/mm}^2$

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte: $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 950.06 \text{ kN} (\geq 738.97 \text{ kN}, \text{ nicht maßgebend})$

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

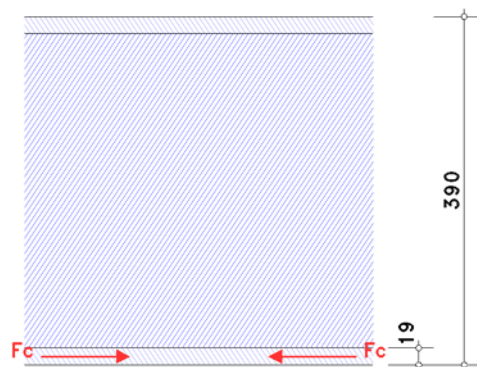
$F_{ep,Rd,2} = 738.97 \text{ kN}$, $l_{eff,2} = 349.9 \text{ mm}$

2.2.2. Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

Flansch unten: Querschnittsklasse für $c/(\varepsilon \cdot t) = 7.60$: 1

Steg: Querschnittsklasse für $\alpha = 0.50$ und $c/(\varepsilon \cdot t) = 33.30$: 1

Querschnittsklasse des Trägers: 1



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

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 909.51 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 2562.00 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 2451.51 \text{ kN}$

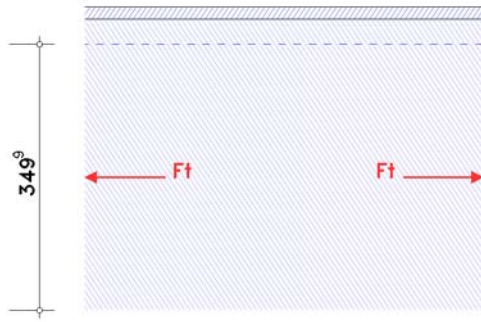
Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

Tragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 909.51 \text{ kNm}$, $W_{pl} = 2562.00 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 2451.51 \text{ kN}$$

2.2.3. 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:

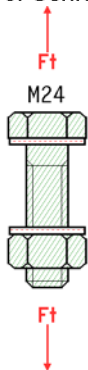
Reihe 2

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 349.9 \text{ mm}$ (l_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 1366.3 \text{ kN}$$

2.2.4. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



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

Zugtragfähigkeit einer Schraube $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 254.16 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$

Durchstantragfähigkeit $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 467.95 \text{ kN}$, $t_p = 20.0 \text{ mm}$

Zug-/Durchstantragfähigkeit für 4 Schrauben: $\Sigma F_{tp,Rd} = 4 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 1016.64 \text{ kN}$

2.3. Anschlusstragfähigkeit

2.3.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 430.5 \text{ mm}$, $h_2 = 310.5 \text{ mm}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 613.2 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 739.0 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{tr,Rd} = 1352.2 \text{ kN}$$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 5

Tragfähigkeit der Flansche

$$\Sigma F_{c,Rd}^* = 4903.0 \text{ kN}$$

Biegetragfähigkeit

$$M_{j,Rd} = \Sigma (F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 493.4 \text{ kNm}$$

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 1352.2 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 4903.0 \text{ kN}$$

2.4. Nachweise

2.4.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d = 460.00 \text{ kNm}$

$$M_{Ed} / M_{j,Rd} = 0.932 < 1 \text{ ok}$$

2.4.2. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.932 < 1$ **ok**

2.5. Rotationssteifigkeit

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 2 Zug-Schraubenreihen:

1: $k_5 = 26.21 \text{ mm}$, $k_{10} = 8.62 \text{ mm} \Rightarrow k_{\text{eff},1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 7.446 \text{ mm}$

2: $k_5 = 4.44 \text{ mm}$, $k_{10} = 8.62 \text{ mm} \Rightarrow k_{\text{eff},2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 7.904 \text{ mm}$

$k_{\text{eq}} = \Sigma(k_{\text{eff},r} \cdot h_r) / z_{\text{eq}} = 14.954 \text{ mm}$, $z_{\text{eq}} = \Sigma(k_{\text{eff},r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{\text{eff},r} \cdot h_r) = 378.5 \text{ mm}$

Rotationssteifigkeit

Anfangsrotationssteifigkeit: $S_{j,\text{ini}} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 449820.1 \text{ kNm/rad}$, $z = z_{\text{eq}} = 378.5 \text{ mm}$, $\Sigma(1/k_i) = 0.067 \text{ mm}^{-1}$

$|M_{j,\text{Ed}}| = 460.00 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,\text{Rd}} = 329.0 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,\text{Ed}}) / M_{j,\text{Rd}})^\Psi = 2.473$, $\Psi = 2.7$

Rotationssteifigkeit: $S_{j,\text{Rd}} = S_{j,\text{ini}} / \mu = 181908.5 \text{ kNm/rad}$

Verdrehung: $\varphi_{j,\text{Ed}} = M_{j,\text{Ed}} / S_{j,\text{Rd}} = 0.145^\circ$

3. Endergebnis

Ausnutzung/Rotation der Verbindung

Lk				U_j	Gleichgewicht		
	$S_{j,\text{ini}}$	S_j	φ_j		ΣH	ΣV	ΣM
--	MNm/rad	MNm/rad	°		kN	kN	kNm
1	449.8	181.9	0.145	0.932*	0.00	0.00	460.00 !!

$S_{j,\text{ini}}$: Anfangsrotationssteifigkeit; S_j : Rotationssteifigkeit; φ_j : Verdrehung; U_j : Ausnutzung der Verbindung; Gleichgewichtstoleranzen 1 kN / 1 kNm

*) maximale Ausnutzung

Maximale Ausnutzung:

$\max U = 0.932 < 1$ **ok**

Minimale Rotationssteifigkeit:

$\min S_j = 181.9 \text{ MNm/rad}$, $S_{j,\text{ini}} = 449.8 \text{ MNm/rad}$, $\varphi_j = 0.145^\circ$

Nachweis erbracht