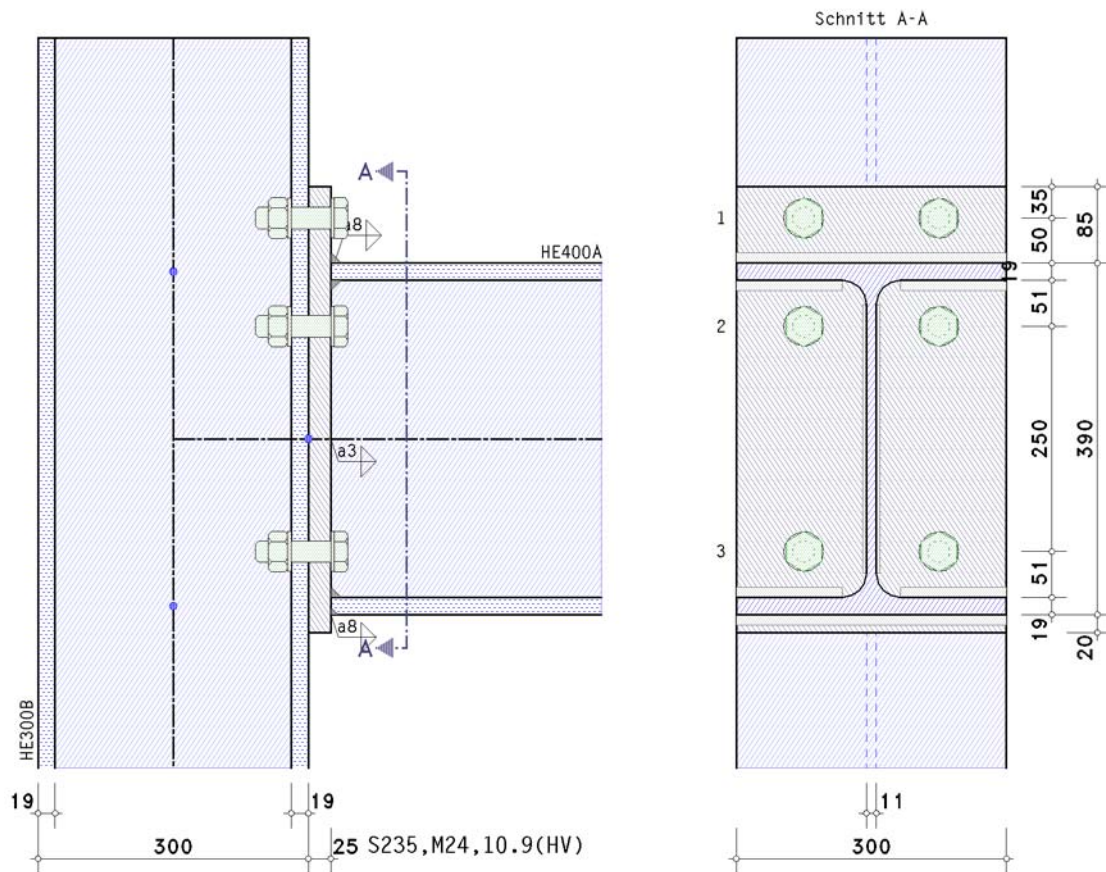


# POS. 1: KAHLMEYER 3.6.4.1

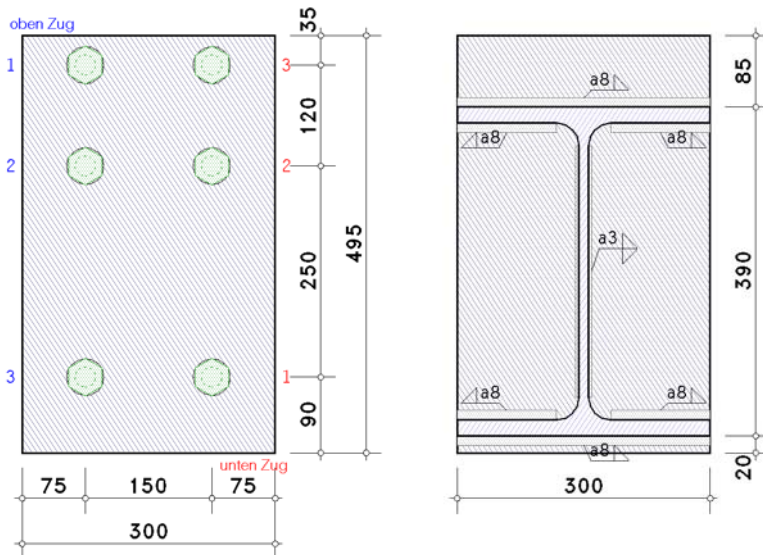
Biegesteifer Trägeranschluss EC 3-1-8 (04.25), NA: Deutschland

4H-EC3BT Version: 10/2019-2w

## 1. Eingabeprotokoll



Details (Schnitt A - A)



### Stahlsorte

Stahlgüte S235

### Parameter der Stütze

Profil HE300B

### Schrauben

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M24

große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt (zur Info: Regelvorspannkraft  $F_{p,c^*} = 0.7 \cdot f_{yb} \cdot A_s = 222.1 \text{ kN}$ )

Schaft in der Scherfuge

### Parameter des Trägers

Profil HE400A

### Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss

Dicke  $t_p = 25.0 \text{ mm}$ , Breite  $b_p = 300.0 \text{ mm}$ , Länge  $l_p = 495.0 \text{ mm}$



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

Schrauben im Anschluss:

3 Schraubenreihen mit je 2 Schrauben

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

und 3 Schraubenreihen zur Querkraftübertragung oben (Reihen 1-3)

davon 1 Schraubenreihe unten unter Zugbelastung (Reihe 3)

und 1 Schraubenreihe zur Querkraftübertragung unten (Reihe 3)

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs  $e_2 = 75.0$  mm

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

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

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum freien Rand der Stütze (Endreihe)  $e_1' = 200.0$  mm

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

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke  $a = 8.0$  mm

Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke  $a = 3.0$  mm

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke  $a = 8.0$  mm

**Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung bezogen auf die Systemachsen**

Lk 1:  $M_{b,Ed} = 200.00$  kNm  $V_{b,Ed} = 270.00$  kN

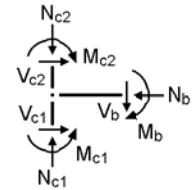
**Materialsicherheitsbeiwerte**

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  $\gamma_{M7} = 1.10$



**Hinweise**

Es wird der Anschluss eines Trägers an eine durchlaufende Stütze nachgewiesen.

Zur vollständigen Bemessung eines Stützenendes sind ggf. weitere Nachweise erforderlich !

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

Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

Die Querschnittsprofile werden nicht nachgewiesen.

**Datencheck**

ok

**Schraubenabstände am Stirnblech**

horizontal:  $e_2 = 75.0$  mm  $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$  mm,

$e_2 = 75.0$  mm  $< 4 \cdot t + 40$  mm = 116.0 mm

horizontal:  $p_2 = 150.0$  mm  $> 2.4 \cdot d_0 = 62.4$  mm,

$p_2 = 150.0$  mm  $< \min(14 \cdot t, 200$  mm) = 200.0 mm

oben-unten:  $e_1 = 35.0$  mm  $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$  mm,

$e_1 = 35.0$  mm  $< 4 \cdot t + 40$  mm = 116.0 mm

oben-unten:  $e_1 = 200.0$  mm  $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$  mm,

$e_1 = 200.0$  mm  $> 4 \cdot t + 40$  mm = 116.0 mm !!

oben-unten:  $p_1 = 120.0$  mm  $> 2.2 \cdot d_0 = 57.2$  mm,

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

oben-unten:  $p_1 = 250.0$  mm  $> 2.2 \cdot d_0 = 57.2$  mm,

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

oben-unten:  $e_1 = 90.0$  mm  $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$  mm,

$e_1 = 90.0$  mm  $< 4 \cdot t + 40$  mm = 116.0 mm

**Schraubenabstand vom Stützenrand**

horizontal:  $e_2 = 75.0$  mm  $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$  mm,

$e_2 = 75.0$  mm  $< 4 \cdot t + 40$  mm = 116.0 mm

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

## 2. Ergebnistabelle

**Ausnutzung/Rotation**

| Lk | $U_m$ | $U_v$ | $U_{wp}$ | $U_{ep}$ | $U$    | $S_{j,ini}$<br>MNm/rad | $S_j$<br>MNm/rad | $\varphi_j$<br>° |
|----|-------|-------|----------|----------|--------|------------------------|------------------|------------------|
| 1  | 1.073 | 0.263 | 1.113    | 0.727    | 1.113* | 77.8                   | 21.5             | 0.533            |

$U_m$ : Ausnutzung aus Biegung;  $U_v$ : Ausnutzung aus Abscheren/Lochleibung;  $U_{wp}$ : Ausnutzung aus Schub im Stützensteg

$U_{ep}$ : Ausnutzung aus Schub im Stirnblech;  $U$ : Ausnutzung der Verbindung;  $S_{j,ini}$ : Anfangsrotationssteifigkeit

$S_j$ : Rotationssteifigkeit;  $\varphi_j$ : Verdrehung

\*) maximale Ausnutzung

## 3. Endergebnis

**Maximale Ausnutzung:**

max  $U = 1.113 > 1$  nicht ok !!

**Minimale Rotationssteifigkeit:**

min  $S_j = 21.5$  MNm/rad,  $S_{j,ini} = 77.8$  MNm/rad,  $\varphi_j = 0.533^\circ$

**Tragfähigkeit nicht gewährleistet !!**

Die Gesamtragfähigkeit der Verbindung ist ggf. nicht gewährleistet (s. Hinweise) !

## 4. 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 -

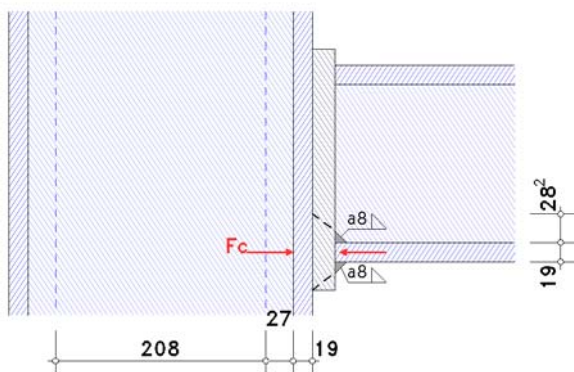
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau;





## 5.2.2. Gk 2: Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 7.2.3(4))  $\beta_j = 1.00 \leq 2$  für  $M_{j1} = 200.00 \text{ kNm}$  ( $M_{j2} = 0$ )



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

wirksame Breite des Stegs für Querdruck  $b_{eff,c} = t_{fb} + 2 \cdot 2^{1/2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{fc} + s_c) + s_p = 305.3 \text{ mm}$

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

Plattenschlankheitsgrad  $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{eff,c} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 0.714$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen  $\rho = (\lambda_p - 0.22) / \lambda_p^2 = 0.969$  für  $\lambda_p > 0.673$

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.653$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 515.23 \text{ kN}$$

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 453.79 \text{ kN (maßgebend)}$$

### Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

wirksame Breite des Stegs für Querdruck  $b_{eff,c} = t_{fb} + 2 \cdot 2^{1/2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{fc} + s_c) + s_p = 321.6 \text{ mm}$

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

Plattenschlankheitsgrad  $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{eff,c} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 0.733$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen  $\rho = (\lambda_p - 0.22) / \lambda_p^2 = 0.955$  für  $\lambda_p > 0.673$

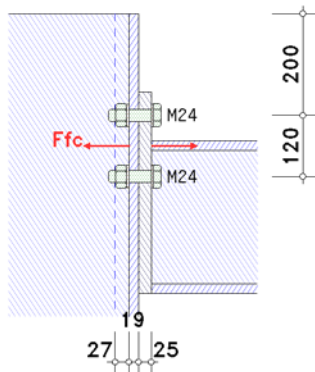
Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.633$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 526.44 \text{ kN}$$

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 456.92 \text{ kN (maßgebend)}$$

## 5.2.3. Gk 4: Stützenflansch mit Biegung



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

### Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe):

hier: Anzahl Schraubenreihen  $n_b = 1$

Reihe 1

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 285.4 \text{ mm}$ ,  $l_{eff,cp} = 301.0 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 285.4 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2:  $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 6.05 \text{ kNm}$

$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 253.80 \text{ kN}$ ,  $k_2 = 0.90$

für Modus 3:  $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 507.60 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 607.79 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 394.31 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 507.60 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 394.31 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 285.4 \text{ mm}$ ,  $l_{eff,cp} = 301.0 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 285.4 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2:  $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 6.05 \text{ kNm}$

$$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 253.80 \text{ kN}, \quad k_2 = 0.90$$

$$\text{für Modus 3: } \Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 507.60 \text{ kN}$$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 607.79 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 394.31 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 507.60 \text{ kN}$$

$$\text{Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: } F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 394.31 \text{ kN}$$

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

$$F_{t,fc,Rd,1} = 394.31 \text{ kN}, \quad l_{eff,1} = 285.4 \text{ mm}$$

$$F_{t,fc,Rd,2} = 394.31 \text{ kN}, \quad l_{eff,2} = 285.4 \text{ mm}$$

**Äquivalenter T-Stummelflansch (Gruppe von Schraubenreihen):**

hier: Anzahl Schraubenreihen  $n_b = 2$

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

$$\text{für Modus 1: } \Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 405.4 \text{ mm}, \quad \Sigma l_{eff,cp} = 541.0 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 2: } \Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 405.4 \text{ mm}$$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

$$\text{für Modus 1+2: } M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 8.60 \text{ kNm}$$

$$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 253.80 \text{ kN}, \quad k_2 = 0.90$$

$$\text{für Modus 3: } \Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 1015.20 \text{ kN}$$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 863.38 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 723.54 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

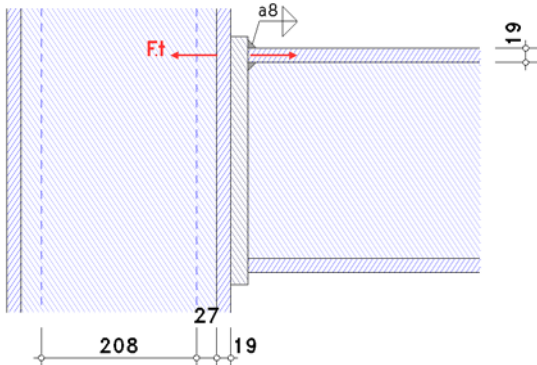
$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 1015.20 \text{ kN}$$

$$\text{Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: } F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 723.54 \text{ kN}$$

effektive Länge:  $\Sigma l_{eff} = 405.4 \text{ mm}$ , 2 Reihen

#### 5.2.4. Gk 3: Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 7.2.3(4))  $\beta_j = 1.00 \leq 2$  für  $M_{j1} = 200.00 \text{ kNm}$  ( $M_{j2} = 0$ )



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

**Für jede einzelne Schraubenreihe:**

Reihe 1

$$\text{Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung } \beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.678$$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 500.03 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 285.4 \text{ mm}$$

Reihe 2

$$\text{Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung } \beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.678$$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 500.03 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 285.4 \text{ mm}$$

**Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug (je Schraubenreihe)**

$$F_{t,wc,Rd,1} = 500.03 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 285.4 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 4})$$

$$F_{t,wc,Rd,2} = 500.03 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 285.4 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 4})$$

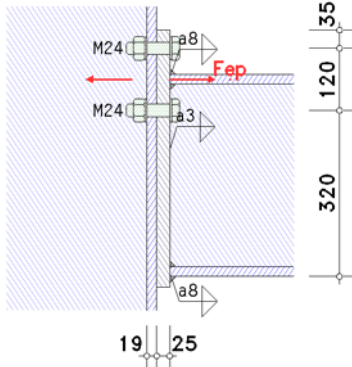
**Für eine Gruppe von Schraubenreihen:**

$$\text{Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung } \beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.544$$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 570.51 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 405.4 \text{ mm}$$

### 5.2.5. 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.

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 150.0 \text{ mm}$ ,  $l_{eff,cp} = 257.3 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 150.0 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

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

$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 253.80 \text{ kN}$ ,  $k_2 = 0.90$

für Modus 3:  $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 507.60 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 699.67 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 378.96 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 507.60 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 378.96 \text{ kN}$

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

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte:  $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 610.94 \text{ kN}$  ( $\geq 378.96 \text{ kN}$ , nicht maßgebend)

Tragfähigkeit und effektive Länge eines Stirnblechs mit Biegung (Überstand)

$F_{t,ep,Rd,1} = 378.96 \text{ kN}$ ,  $l_{eff,1} = 150.0 \text{ mm}$

#### Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

##### Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe):

hier: Anzahl Schraubenreihen  $n_b = 1$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 415.4 \text{ mm}$ ,  $l_{eff,cp} = 415.4 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 434.0 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1:  $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 15.25 \text{ kNm}$

für Modus 2:  $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 15.94 \text{ kNm}$

$F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 253.80 \text{ kN}$ ,  $k_2 = 0.90$

für Modus 3:  $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 507.60 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 1053.99 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 495.69 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 507.60 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 495.69 \text{ kN}$

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

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte:  $F_{T,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot l_{eff} = 634.39 \text{ kN}$  ( $\geq 495.69 \text{ kN}$ , nicht maßgebend)

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

$F_{ep,Rd,2} = 495.69 \text{ kN}$ ,  $l_{eff,2} = 415.4 \text{ mm}$

### 5.2.6. Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

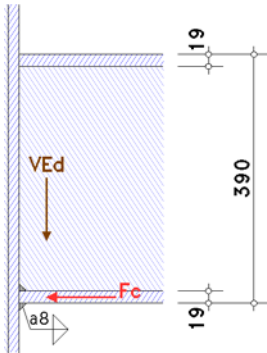
Flansch unten: Q-Klasse 1

Steg: Q-Klasse 1

Gesamt: Q-Klasse 1

Querschnittsklasse des Trägers: 1

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion  $V_{Ed} = 270.0 \text{ kN}$



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

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft:  $V_{Ed} = 270.0 \text{ kN} \leq 388.9 \text{ kN} = 0.5 \cdot V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$  kein Einfluss

Tragfähigkeit  $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 601.97 \text{ kNm}$ ,  $W_{pl} = 2561.57 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs und Stegs mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 1622.56 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit der Schweißnähte

$$\text{Druckkraft } N_{c,Ed} = 1622.6 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = 478.0 \text{ N/mm}^2 > f_{1w,d} = 360.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 1.328 > 1$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = 239.0 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.2 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.922 < 1$$

$$\Rightarrow F_{c,f,Rd} / \max U = 1221.88 \text{ kN}$$

**Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:**

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft:  $V_{Ed} = 270.0 \text{ kN} \leq 388.9 \text{ kN} = 0.5 \cdot V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$  kein Einfluss

Tragfähigkeit  $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 601.97 \text{ kNm}$ ,  $W_{pl} = 2561.57 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs und Stegs mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 1622.56 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit der Schweißnähte

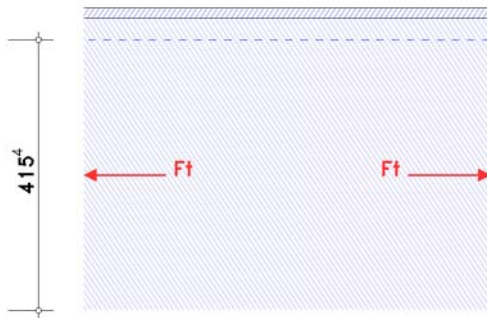
$$\text{Druckkraft } N_{c,Ed} = 1622.6 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = 478.0 \text{ N/mm}^2 > f_{1w,d} = 360.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 1.328 > 1$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = 239.0 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.2 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.922 < 1$$

$$\Rightarrow F_{c,f,Rd} / \max U = 1221.88 \text{ kN}$$

### 5.2.7. 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 2

$$\text{wirksame Breite } b_{eff,t,wb} = 415.4 \text{ mm} \text{ (} l_{eff} \text{ aus Gk 5)}$$

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 1073.69 \text{ kN}$$

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

Zugtragfähigkeit der Schweißnähte:  $F_{t,w,Rd} = 2^{1/2} \cdot f_{1w,d} \cdot a \cdot b_{eff,t} = 634.39 \text{ kN}$

Gesamtragfähigkeit des Blechs:  $F_{t,wb,Rd} = F_{t,w,Rd} = 634.39 \text{ kN}$

**Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zug (je Schraubenreihe)**

$$F_{t,wb,Rd,2} = 634.39 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wb} = 415.4 \text{ mm} \text{ (s. Gk 5)}$$

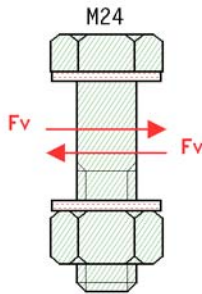
### 5.2.8. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



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

Zugtragfähigkeit einer Schraube  $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 253.80 \text{ kN}$ ,  $k_2 = 0.90$   
 Durchstantragfähigkeit einer Schraube  $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 444.55 \text{ kN}$ ,  $t_p = 19.0 \text{ mm}$   
 Zug-/Durchstantragfähigkeit für 2 Schrauben:  $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 507.60 \text{ kN}$

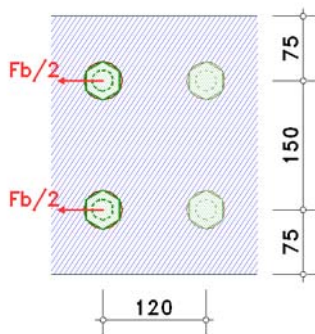
### 5.2.9. Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung



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

Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 217.15 \text{ kN}$ ,  $\alpha_v = 0.60$   
 Abschertragfähigkeit für 2 Schrauben (1-schnittig):  $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 434.29 \text{ kN}$

### 5.2.10. Gk 12: Blech mit Lochleibungsbeanspruchung



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

Reihe 1

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 232.62 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 1.35$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 232.62 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 1.35$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 465.23 \text{ kN}$

Blockversagen von Schraubengruppen

Schubversagen in Kombination mit Zugversagen des Blechs

Versagensform 1:

Zug-Schubwiderstand  $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u + \min(A_{gv} \cdot f_y, A_{nv} \cdot f_u) / 3^{1/2}) / \gamma_{M2} = 984.25 \text{ kN}$

Versagensform 2:

Zug-Schubwiderstand  $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u + \min(A_{gv} \cdot f_y, A_{nv} \cdot f_u) / 3^{1/2}) / \gamma_{M2} = 984.25 \text{ kN}$

Versagensform 3:

Zug-Schubwiderstand  $V_{eff,Rd} = (0.5 \cdot A_{nt} \cdot f_u + \min(A_{gv} \cdot f_y, A_{nv} \cdot f_u) / 3^{1/2}) / \gamma_{M2} = 714.25 \text{ kN}$

Versagensform 4:

Zugwiderstand (ohne Schubanteil)  $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 1785.60 \text{ kN}$

Tragfähigkeit aus Blockversagen:  $\min V_{eff,Rd} = 714.3 \text{ kN}$

Gesamt

Lochleibungstragfähigkeit einschl. Blockversagen:  $\min(\Sigma F_{b,Rd}, \min V_{eff,Rd}) = 465.2 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 393.98 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 393.98 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 787.97 \text{ kN}$

## Reihe 2

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 518.40 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 518.40 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 1036.80 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 393.98 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 393.98 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 787.97 \text{ kN}$

## Reihe 3

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 518.40 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 518.40 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 1036.80 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 393.98 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 393.98 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 787.97 \text{ kN}$

## Lochleibungstragfähigkeiten (3 Reihen)

$\Sigma F_{b,Rd,1} = 465.23 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,2} = 787.97 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,3} = 787.97 \text{ kN}$

## 5.3. Anschlusstragfähigkeit

Übertragungsparameter:  $\beta_j = 1.00$

### 5.3.1. Biegetragfähigkeit

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

#### Tragfähigkeiten nach EC 3-1-8, B.3.2.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 379.0 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 394.3 \text{ kN}$

#### Abminderungen nach EC 3-1-8, B.3.2.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stütze)

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 379.0 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 191.5 \text{ kN}$

#### Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 379.0 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 191.5 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 570.5 \text{ kN}$

#### Abminderungen nach EC 3-1-8, B.3.2.2(7)

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 379.0 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 74.8 \text{ kN}$

#### Kontrolle nach EC 3-1-8, B.3.2.2(9)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 379.0 \text{ kN}$

#### Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 379.0 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 74.8 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd} = 453.8 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 2, 3, 4, 5

#### Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$\Sigma F_{c,Rd}^* = 907.6 \text{ kN}$

#### Biegetragfähigkeit

$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 186.4 \text{ kNm}$

#### Zugtragfähigkeit

$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 570.5 \text{ kN}$

#### Drucktragfähigkeit

$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 907.6 \text{ kN}$

### 5.3.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

#### Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

Reihe 1:  $F_{vr,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{vr,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{vr,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

#### Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1:  $F_{vr,Rd} = 202.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{vr,Rd} = 388.6 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{vr,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

#### Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Abscheren/Lochleibung)

Reihe 1:  $F_{vr,Rd} = 202.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{vr,Rd} = 388.6 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{vr,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{vr,Rd} = 1025.6 \text{ kN}$$

#### Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 1025.6 \text{ kN}$$

### 5.3.3. Schubtragfähigkeit

#### Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

Stirnblech:  $V_{ep,Rd} = 1010.80 \text{ kN}$

Schweißnähte:  $F_{w,Rd} = 371.63 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit:  $V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 371.63 \text{ kN}$

#### Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

$$V_{wp,Rd} = 484.93 \text{ kN}$$

### 5.3.4. Gesamt

$$M_{j,Rd} = 186.4 \text{ kNm} \quad N_{j,t,Rd} = 570.5 \text{ kN} \quad N_{j,c,Rd} = 907.6 \text{ kN} \quad V_{j,Rd} = 1025.6 \text{ kN} \quad V_{wp,Rd} = 484.9 \text{ kN} \quad V_{ep,Rd} = 371.6 \text{ kN}$$

### 5.4. Nachweise

#### 5.4.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Biegemoment:  $M_{Ed} = M_d = 200.00 \text{ kNm}$

Querkraft:  $V_{Ed} = |V_d| = 270.00 \text{ kN}$

Schubkraft:  $V_{c,w,Ed} = M_d/z - (V_{c1} - V_{c2})/2 = 539.81 \text{ kN}$ ,  $z = 370.5 \text{ mm}$

Schubkraft:  $V_{b,w,Ed} = 270.00 \text{ kN}$

$$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 1.073 > 1 \text{ nicht ok !!}$$

$$V_{Ed}/V_{j,Rd} = 0.263 < 1 \text{ ok}$$

$$V_{c,w,Ed}/V_{wp,Rd} = 1.113 > 1 \text{ nicht ok !!}$$

$$V_{b,w,Ed}/V_{ep,Rd} = 0.727 < 1 \text{ ok}$$

#### 5.4.2. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung:  $\max U = 1.113 > 1 \text{ nicht ok !!}$

Versagen beim Nachweis für Biegung:  $U = 1.073$

Versagen beim Nachweis Schub im Stützensteg:  $U = 1.113$

### 5.5. Rotationssteifigkeit

#### Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 2 Zug-Schraubenreihen:

$$1: k_3 = 10.56 \text{ mm}, k_4 = 16.03 \text{ mm}, k_5 = 30.72 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 5.274 \text{ mm}$$

$$2: k_3 = 10.56 \text{ mm}, k_4 = 16.03 \text{ mm}, k_5 = 20.22 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 4.842 \text{ mm}$$

$$\text{äquivalenter innerer Hebelarm } z_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) = 382.69 \text{ mm}$$

$$\text{äquivalenter Steifigkeitskoeffizient } k_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) / z_{eq} = 9.862 \text{ mm}$$

$$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 4.86 \text{ mm}$$

$$k_2 = 0.7 \cdot b_{eff,c} \cdot t_{wc} / d_c = 11.30 \text{ mm}$$

#### Rotationssteifigkeit

$$\text{Anfangsrotationssteifigkeit: } S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 77772.0 \text{ kNm/rad}, z = z_{eq} = 382.7 \text{ mm}, \Sigma(1/k_i) = 0.395 \text{ mm}^{-1}$$

$$|M_{j,Ed}| = 200.00 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,Rd} = 124.25 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^\Psi = 3.616, \Psi = 2.7$$

$$\text{Rotationssteifigkeit: } S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 21510.5 \text{ kNm/rad}$$

$$\text{Verdrehung: } \varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.533^\circ$$