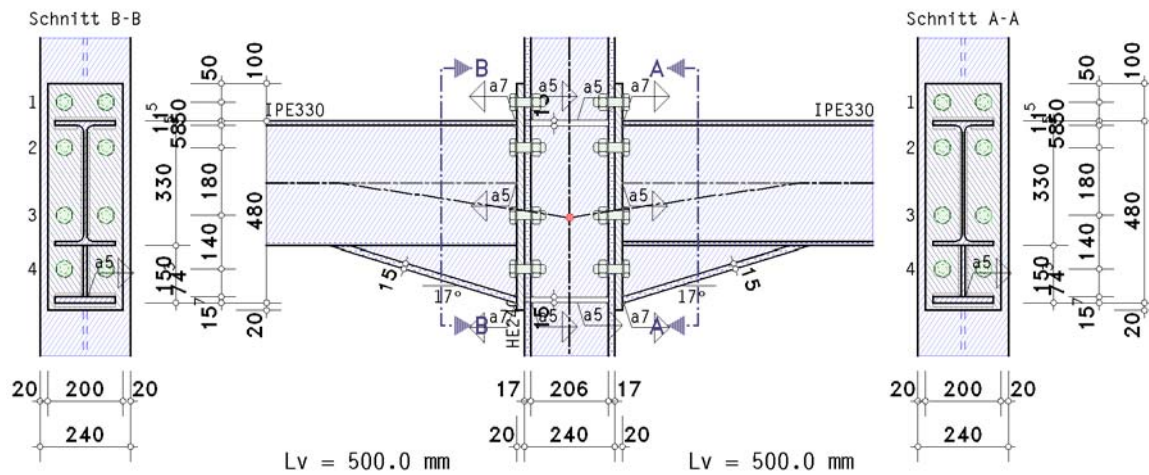
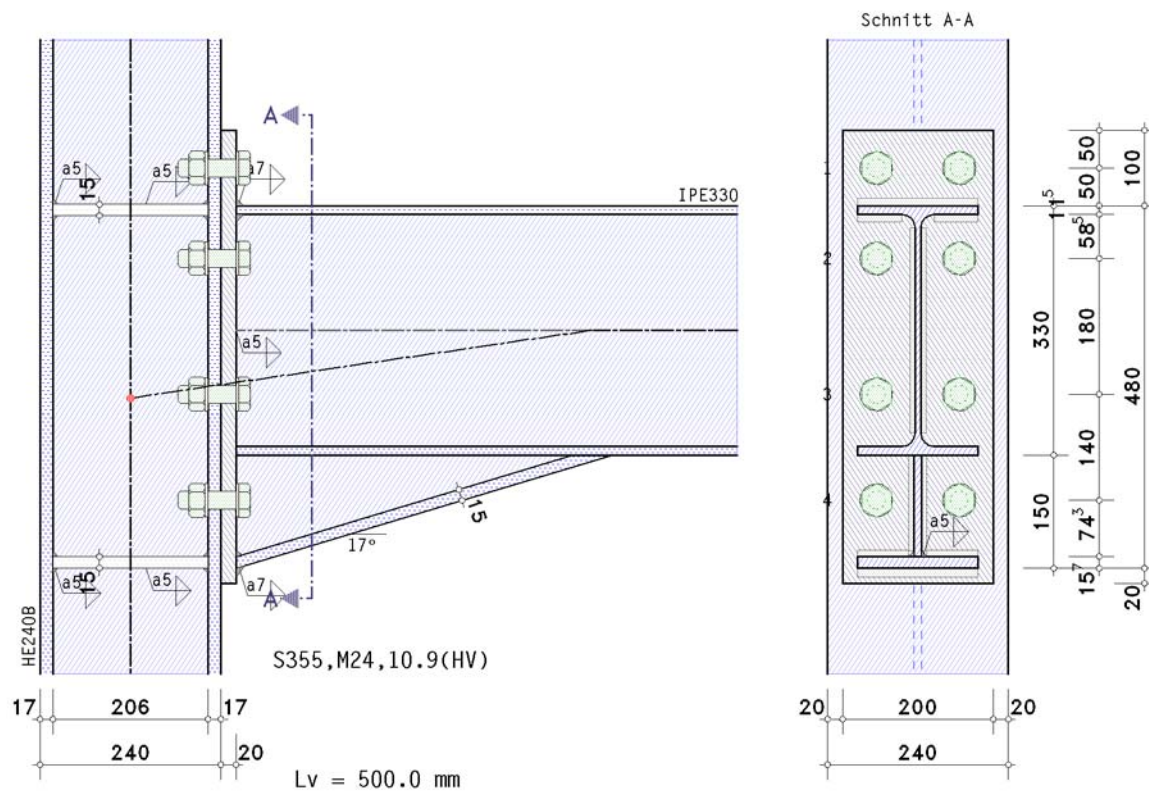


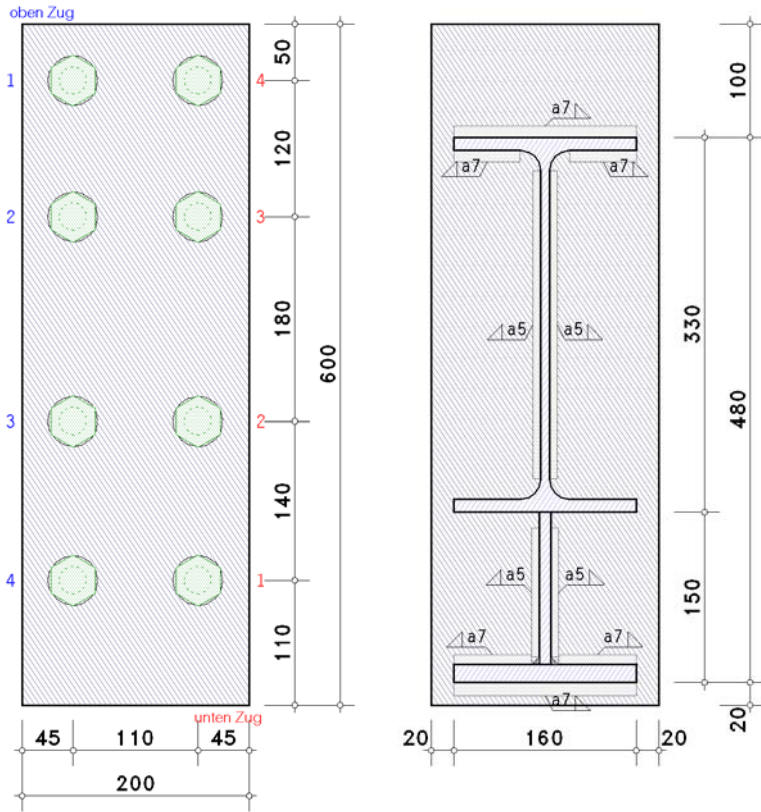
### 1. Eingabeprotokoll



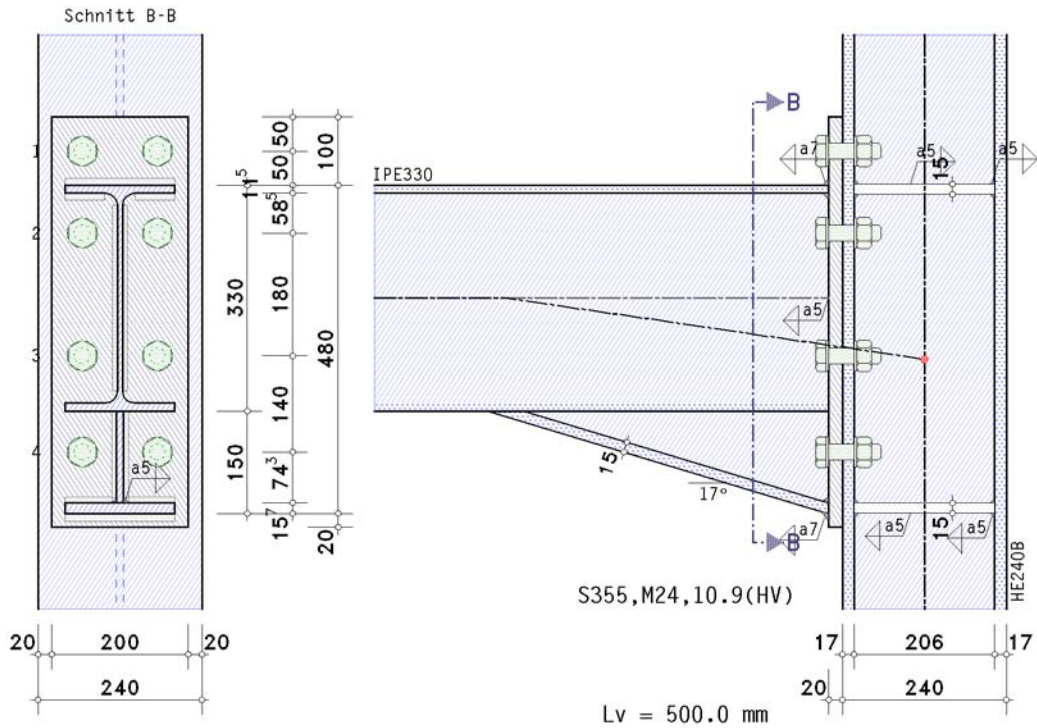
### Anschluss rechts



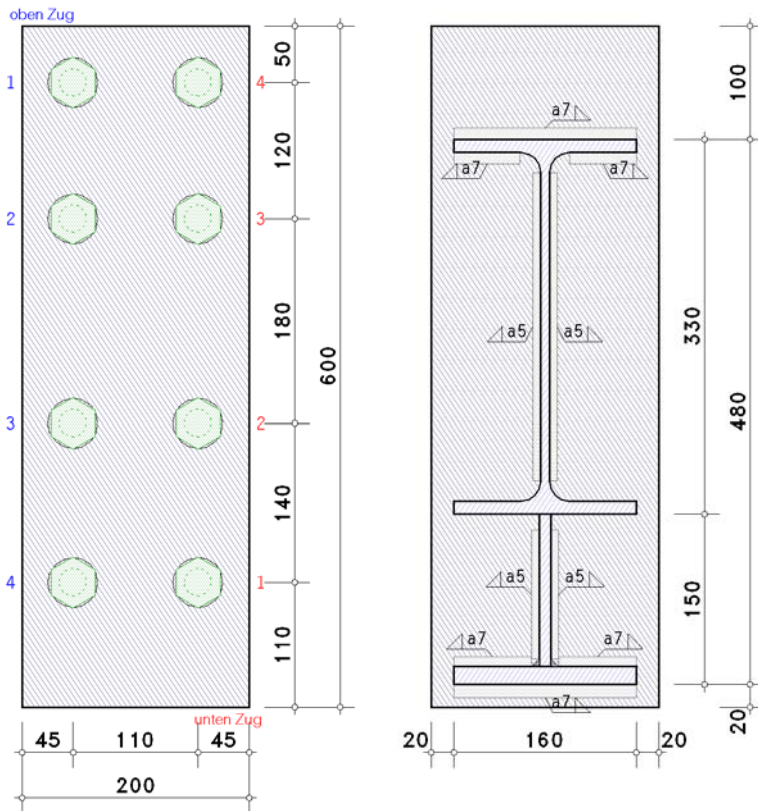
Details (Schnitt A - A)



Anschluss links



## Details (Schnitt B - B)



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

### Stahlsorte

Stahlgüte S355

### Parameter der Stütze

Profil HE240B

Verstärkung des Profils durch Quersteifen (Stegsteifen in Höhe des max. Trägerzug- und -druckflanschs,  $d_{st} = 466.4$  mm):

Dicke  $t_{st} = 15.0$  mm, Breite  $b_{st} = 100.0$  mm, Länge  $l_{st} = 206.0$  mm

Aussparung an den Steifen  $c_{st} = 31.5$  mm

Schweißnähte  $a_{st,f} = 5.0$  mm,  $a_{st,w} = 5.0$  mm

### Zweiseitiger Träger-Stützenanschluss, rechts

#### Schrauben

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M24

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

Schaft in der Scherfuge

#### Parameter des Trägers

Profil IPE330

Neigungswinkel der Voute gegen die Horizontale  $\alpha_v = 16.70^\circ$

Länge der Voute  $L_v = 500.0$  mm, Voutenhöhe im Anschluss  $h_v = L_v \cdot (\tan(\alpha_v) - \tan(\alpha_b)) = 150.0$  mm

Stegdicke  $t_{w,v} = 10.0$  mm, Flanschbreite, -dicke  $b_{f,v} = 160.0$  mm,  $t_{f,v} = 15.0$  mm, Schweißnahtdicke  $a_v = 5.0$  mm

Gesamte Trägerhöhe im Anschluss  $h_{ges} = h_b + h_v = 480.0$  mm

#### Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss

Dicke  $t_p = 20.0$  mm, Breite  $b_p = 200.0$  mm, Länge  $l_p = 600.0$  mm

Überstände  $h_{p,o} = 100.0$  mm,  $h_{p,u} = 20.0$  mm

Schrauben im Anschluss:

4 Schraubenreihen mit je 2 Schrauben

alle Schraubenreihen einzeln betrachtet

alle Schraubenreihen zur Querkraftübertragung (Reihen 1-4)

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

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs  $e_2 = 45.0$  mm

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe)  $e_o = 50.0$  mm

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe)  $e_u = 110.0$  mm

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander  $p_{1-2} = 120.0$  mm,  $p_{2-3} = 180.0$  mm,  $p_{3-4} = 140.0$  mm

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke  $a = 7.0$  mm

Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke  $a = 5.0$  mm

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke  $a = 7.0$  mm, Öffnungswinkel  $\varphi = 107^\circ$

### Zweiseitiger Träger-Stützenanschluss, links

#### Schrauben

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M24

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

Schaft in der Scherfuge

### Parameter des Trägers

Profil IPE330

Neigungswinkel der Voute gegen die Horizontale  $\alpha_v = 16.70^\circ$

Länge der Voute  $L_v = 500.0$  mm, Voutenhöhe im Anschluss  $h_v = L_v \cdot (\tan(\alpha_v) - \tan(\alpha_b)) = 150.0$  mm

Stegdicke  $t_{w,v} = 10.0$  mm, Flanscbreite, -dicke  $b_{f,v} = 160.0$  mm,  $t_{f,v} = 15.0$  mm, Schweißnahtdicke  $a_v = 5.0$  mm

Gesamte Trägerhöhe im Anschluss  $h_{ges} = h_b + h_v = 480.0$  mm

### Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss

Dicke  $t_p = 20.0$  mm, Breite  $b_p = 200.0$  mm, Länge  $l_p = 600.0$  mm

Überstände  $h_{p,o} = 100.0$  mm,  $h_{p,u} = 20.0$  mm

Schrauben im Anschluss:

4 Schraubenreihen mit je 2 Schrauben

alle Schraubenreihen einzeln betrachtet

alle Schraubenreihen zur Querkraftübertragung (Reihen 1-4)

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

Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs  $e_2 = 45.0$  mm

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe)  $e_o = 50.0$  mm

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe)  $e_u = 110.0$  mm

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander  $p_{1-2} = 120.0$  mm,  $p_{2-3} = 180.0$  mm,  $p_{3-4} = 140.0$  mm

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke  $a = 7.0$  mm

Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke  $a = 5.0$  mm

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke  $a = 7.0$  mm, Öffnungswinkel  $\varphi = 107^\circ$

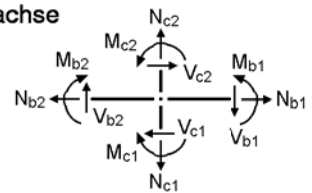
### Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen bezogen auf die ungevoutete Trägerachse

Lk 1:  $M_{j,b1,Ed} = -100.00$  kNm  $V_{j,b1,Ed} = 200.00$  kN (rechts)

$M_{j,b2,Ed} = -100.00$  kNm  $V_{j,b2,Ed} = -200.00$  kN (links)

$N_{j,c1,Ed} = -500.00$  kN (unten)

$N_{j,c2,Ed} = -100.00$  kN (oben)



### 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

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

Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden.

Bei gevouteten Trägern wird der untere Flansch des Trägerprofils nicht berücksichtigt. Es wird ein fiktives

Profil aus dem oberen Trägerflansch, dem Trägersteg und dem Voutenflansch gebildet.

Lediglich bei der Berechnung des Stirnblechs geht der untere Trägerflansch als Zwischensteife ein.

Die Querschnittsprofile werden nicht nachgewiesen.

Der Anschluss der Voute an den Träger wird nicht nachgewiesen.

Die Schweißnähte des Voutenprofils werden nicht nachgewiesen.

Die Schweißnähte werden bei Ermittlung der T-Stummel-Tragfähigkeit nicht berücksichtigt.

Die Schweißnähte werden nicht überprüft.

Stegsteifen werden nicht nachgewiesen.

### Datencheck

Anschluss rechts:

ok

Anschluss links:

ok

Schrauben rechts:

Schraubenabstände am Stirnblech

horizontal:  $e_2 = 45.0$  mm  $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$  mm,

$e_2 = 45.0$  mm  $< 4 \cdot t + 40$  mm = 108.0 mm

horizontal:  $p_2 = 110.0$  mm  $> 2.4 \cdot d_0 = 62.4$  mm,

$p_2 = 110.0$  mm  $< \min(14 \cdot t, 200$  mm) = 200.0 mm

oben-unten:  $e_1 = 50.0$  mm  $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$  mm,

$e_1 = 50.0$  mm  $< 4 \cdot t + 40$  mm = 108.0 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:  $p_1 = 180.0$  mm  $> 2.2 \cdot d_0 = 57.2$  mm,

$p_1 = 180.0$  mm  $< \min(14 \cdot t, 200$  mm) = 200.0 mm

oben-unten:  $p_1 = 140.0$  mm  $> 2.2 \cdot d_0 = 57.2$  mm,

$p_1 = 140.0$  mm  $< \min(14 \cdot t, 200$  mm) = 200.0 mm

oben-unten:  $e_1 = 110.0$  mm  $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$  mm,

$e_1 = 110.0$  mm  $> 4 \cdot t + 40$  mm = 108.0 mm !!

Schraubenabstand vom Stützenrand

horizontal:  $e_2 = 65.0$  mm  $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$  mm,

$e_2 = 65.0$  mm  $< 4 \cdot t + 40$  mm = 108.0 mm

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

Schrauben links:

Schraubenabstände am Stirnblech

horizontal:  $e_2 = 45.0$  mm  $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$  mm,

$e_2 = 45.0$  mm  $< 4 \cdot t + 40$  mm = 108.0 mm

horizontal:  $p_2 = 110.0$  mm  $> 2.4 \cdot d_0 = 62.4$  mm,

$p_2 = 110.0$  mm  $< \min(14 \cdot t, 200$  mm) = 200.0 mm

oben-unten:  $e_1 = 50.0$  mm  $> 1.2 \cdot d_0 = 31.2$  mm,

$e_1 = 50.0$  mm  $< 4 \cdot t + 40$  mm = 108.0 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:  $p_1 = 180.0$  mm  $> 2.2 \cdot d_0 = 57.2$  mm,

$p_1 = 180.0$  mm  $< \min(14 \cdot t, 200$  mm) = 200.0 mm

oben-unten:  $p_1 = 140.0$  mm  $> 2.2 \cdot d_0 = 57.2$  mm,

$p_1 = 140.0$  mm  $< \min(14 \cdot t, 200$  mm) = 200.0 mm

oben-unten:  $e_1 = 110.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$ ,  $e_1 = 110.0 \text{ mm} > 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 108.0 \text{ mm} \quad !!$   
 Schraubenabstand vom Stützenrand  
 horizontal:  $e_2 = 65.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 31.2 \text{ mm}$ ,  $e_2 = 65.0 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 108.0 \text{ mm}$   
 Maximale Rand- und Lochabstände sollten zur Vermeidung von Korrosion sowie zur Verhinderung lokalen Beulens eingehalten werden.

## 2. Ergebnistabelle

### Ausnutzung/Rotation je Anschlussseite (rechts)

| Lk | $U_{\sigma,b}$ | $U_m$ | $U_v$ | $U_{ep}$ | $U_{sb}$ | U     | $S_{j,ini}$ | $S_j$   | $\varphi_j$ |
|----|----------------|-------|-------|----------|----------|-------|-------------|---------|-------------|
| -- | ---            | ---   | ---   | ---      | ---      | ---   | MNm/rad     | MNm/rad | °           |
| 1  | 0.306          | 0.215 | 0.122 | 0.149    | 0.309    | 0.309 | 447.5       | 447.5   | 0.010       |

$U_{\sigma,b}$ : Spannungsausnutzung am Träger;  $U_m$ : Ausnutzung aus Biegung;  $U_v$ : Ausnutzung aus Abscheren/Lochleibung  
 $U_{ep}$ : Ausnutzung aus Schub im Stirnblech;  $U_{sb}$ : Ausnutzung aus Schweißnaht; U: Ausnutzung je Anschlussseite  
 $S_{j,ini}$ : Anfangsrotationssteifigkeit;  $S_j$ : Rotationssteifigkeit  
 $\varphi_j$ : Verdrehung

### Ausnutzung/Rotation je Anschlussseite (links)

| Lk | $U_{\sigma,b}$ | $U_m$ | $U_v$ | $U_{ep}$ | $U_{sb}$ | U     | $S_{j,ini}$ | $S_j$   | $\varphi_j$ |
|----|----------------|-------|-------|----------|----------|-------|-------------|---------|-------------|
| -- | ---            | ---   | ---   | ---      | ---      | ---   | MNm/rad     | MNm/rad | °           |
| 1  | 0.306          | 0.215 | 0.122 | 0.149    | 0.309    | 0.309 | 447.5       | 447.5   | 0.010       |

$U_{\sigma,b}$ : Spannungsausnutzung am Träger;  $U_m$ : Ausnutzung aus Biegung;  $U_v$ : Ausnutzung aus Abscheren/Lochleibung  
 $U_{ep}$ : Ausnutzung aus Schub im Stirnblech;  $U_{sb}$ : Ausnutzung aus Schweißnaht; U: Ausnutzung je Anschlussseite  
 $S_{j,ini}$ : Anfangsrotationssteifigkeit;  $S_j$ : Rotationssteifigkeit  
 $\varphi_j$ : Verdrehung

## 3. Endergebnis

### Ausnutzung/Rotation der Verbindung

| Lk | rechts      |         |             | links       |         |             | $U_j$  | Gleichgewicht |            |            |    |
|----|-------------|---------|-------------|-------------|---------|-------------|--------|---------------|------------|------------|----|
|    | $S_{j,ini}$ | $S_j$   | $\varphi_j$ | $S_{j,ini}$ | $S_j$   | $\varphi_j$ |        | $\Sigma H$    | $\Sigma V$ | $\Sigma M$ |    |
| -- | MNm/rad     | MNm/rad | °           | MNm/rad     | MNm/rad | °           |        | kN            | kN         | kNm        |    |
| 1  | 447.5       | 447.5   | 0.010       | 447.5       | 447.5   | 0.010       | 0.309* | 0.00          | 0.00       | 0.00       | ok |

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

**Maximale Ausnutzung:**  $\max U = 0.309 < 1$  ok  
**Minimale Rotationssteifigkeit (rechts):**  $\min S_j = 447.5 \text{ MNm/rad}$ ,  $S_{j,ini} = 447.5 \text{ MNm/rad}$ ,  $\varphi_j = 0.010^\circ$   
**Minimale Rotationssteifigkeit (links):**  $\min S_j = 447.5 \text{ MNm/rad}$ ,  $S_{j,ini} = 447.5 \text{ MNm/rad}$ ,  $\varphi_j = 0.010^\circ$

## Nachweis erbracht

## 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;  
 Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2022, Ausgabe April 2025  
 EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-1, Ausgabe Oktober 2022

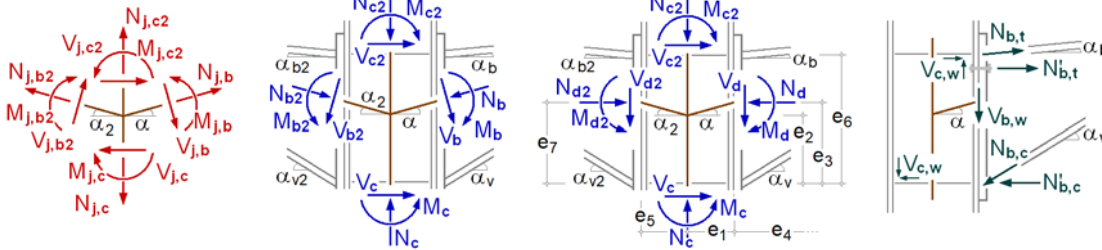
EN 1993-1-8, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -  
 Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen;  
 Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2024, Ausgabe April 2025  
 EN 1993-1-8/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-8, Ausgabe November 2020

## 5. Lk 1 (maßgebend)

### 5.1. Anschluss rechts

#### 5.1.1. Bemessungsgrößen

Knotenschnittgrößen    Anschnitt Anschluss  $\perp$  zur Anschlussebene    Teilschnittgrößen



Neigungswinkel:  $\alpha_b = 0.00^\circ$ ,  $\alpha_v = 16.70^\circ \Rightarrow \alpha = (\alpha_b + \alpha_v)/2 = 8.35^\circ$   
 $\alpha_{b2} = 0.00^\circ$ ,  $\alpha_{v2} = 16.70^\circ \Rightarrow \alpha_2 = (\alpha_{b2} + \alpha_{v2})/2 = 8.35^\circ$   
 Abstände:  $e_1 = 120.0 \text{ mm}$ ,  $e_3 = 234.4 \text{ mm}$ ,  $e_2 = 216.8 \text{ mm}$ ,  $e_5 = 120.0 \text{ mm}$ ,  $e_7 = 234.4 \text{ mm}$ ,  $e_6 = 466.4 \text{ mm}$

**Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen**

Anschnitt Träger (rechts)  
 $N_d = -29.04 \text{ kN}$ ,  $M_d = 75.74 \text{ kNm}$ ,  $V_d = 197.88 \text{ kN}$   
 Anschnitt Träger (links)  
 $N_{d2} = -29.04 \text{ kN}$ ,  $M_{d2} = 75.74 \text{ kNm}$ ,  $V_{d2} = 197.88 \text{ kN}$   
 Anschnitt Stütze (unten)  
 $N_c = 500.00 \text{ kN}$   
 Anschnitt Stütze (oben)  
 $N_{c2} = 100.00 \text{ kN}$

**Teilschnittgrößen**

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger:  $M'_d = M_d + N_d \cdot t_p \cdot \tan(\alpha) - V_d \cdot t_p = 71.70 \text{ kNm}$   
 $N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M'_d/z_b = 167.07 \text{ kN}$ ,  $z_b = 466.4 \text{ mm}$ ,  $z_{bu} = 214.3 \text{ mm}$   
 $N_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo}/z_b + M'_d/z_b) / \cos(\alpha_v) = 144.10 \text{ kN}$ ,  $z_b = 466.4 \text{ mm}$ ,  $z_{bo} = 252.1 \text{ mm}$   
 $V_{b,t} = -N_{b,t} \cdot \sin(\alpha_b) = 0.00 \text{ kN}$ ,  $V_{b,c} = N_{b,c} \cdot \sin(\alpha_v) = 41.41 \text{ kN}$ ,  $V_{b,w} = V_d - V_{b,t} - V_{b,c} = 156.47 \text{ kN}$

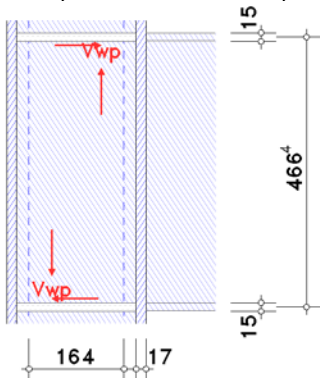
**5.1.2. Querschnittstragfähigkeit im Anschnitt**

c/t-Ausnutzung bzgl. Q-Klasse 2  
 Flansch unten: Q-Klasse 1, Ausnutzung  $U_{c/t} = 0.457$   
 Steg: Q-Klasse 1, Ausnutzung  $U_{c/t} = 0.683$   
 Gesamt: Q-Klasse 1, c/t-Ausnutzung  $U_{c/t} = 0.683 < 1$  **ok**  
 plastischer Spannungsnachweis für  $N_{Ed} = 29.04 \text{ kN}$ ,  $M_{y,Ed} = -71.70 \text{ kNm}$ ,  $V_{z,Ed} = 197.88 \text{ kN}$   
 Q-Klasse des Profils  $1 \leq 2$  **ok**  
 Schubbeulen:  $h_p/t_p = 60.38 > 72 \cdot \epsilon/\eta = 48.82 \Rightarrow$  genauer Nachweis erforderlich !!  
 Der Querschnitt ist plastisch nicht nachweisbar !!  
 elastischer Spannungsnachweis für  $N = 29.04 \text{ kN}$ ,  $M_y = -71.70 \text{ kNm}$ ,  $V_z = 197.88 \text{ kN}$   
 Nachweis:  $\sigma_v = 108.81 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{v,Rd} = 355.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_\sigma = 0.306 < 1$  **ok**  
 c/t-Verhältnis: einseitig gestützt: Ausnutzung  $U_{c/t} = 0.145 < 1$  **ok**  
 beidseitig gestützt: Ausnutzung  $U_{c/t} = 0.215 < 1$  **ok**

**5.1.3. Grundkomponenten**

**5.1.3.1. Gk 1: Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung**

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 7.2.3(4))  $\beta_j = |1 - M_{j2}/M_{j1} \cdot z_1/z_2| = 0.58 \leq 2$   
 für  $M_{j1} = 100.00 \text{ kNm}$ ,  $M_{j2} = 100.00 \text{ kNm}$ ,  $z_1 = 372.2 \text{ mm}$ ,  $z_2 = 234.8 \text{ mm}$



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

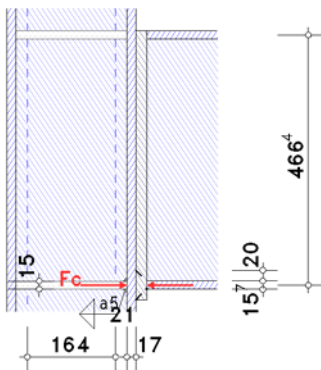
Slankheit des Stützenstegs  $h_{wc}/t_{wc} = 20.60 < 72 \cdot \epsilon/\eta = 48.82 \Rightarrow$  Verfahren anwendbar  
 plastische Schubtragfähigkeit ohne Stegsteifen  $V_{wp,Rd} = (0.9 \cdot f_{y,w} \cdot A_{wp}) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 442.71 \text{ kN}$   
 Beitrag des Stützenflanschs:  
 zusätzliche Tragfähigkeit  $V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd}/z_{wp} = 110.8 \text{ kN}$ ,  $z_{wp} = h_r = 222.2 \text{ mm}$   
 plastische Schubtragfähigkeit zzgl. Beitrag des Stützenflanschs  $V_{wp,Rd} = 553.5 \text{ kN}$   
 Anordnung von zwischenliegenden Stegsteifen:  
 zusätzliche Tragfähigkeit  $V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd}/(h_r + 2 \cdot M_{pl,st,Rd})/h_r = 110.83 \text{ kN}$

### 5.1.3.2. Gk 2: Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 7.2.3(4))  $\beta_j = 1 - M_{j2}/M_{j1} \cdot z_1/z_2 = 0.58 \leq 2$

für  $M_{j1} = 100.00 \text{ kNm}$ ,  $M_{j2} = 100.00 \text{ kNm}$ ,  $z_1 = 372.2 \text{ mm}$ ,  $z_2 = 234.8 \text{ mm}$

Längsdruckspannung im Stützensteg  $\sigma_{com,Ed} = 47.18 \text{ N/mm}^2$



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

wirksame Breite des Stegs für Querdruck  $b_{eff,c} = t_{fb} + 5 \cdot (t_{fc} + s_c) + s_p = 245.7 \text{ mm}$

Abminderungsbeiwert  $k_w = 1.0$  für  $\sigma_{com,Ed} = 47.2 \text{ N/mm}^2 \leq 0.7 \cdot f_{y,w} = 248.5 \text{ N/mm}^2$

Plattenschlankheitsgrad  $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{eff,c} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 0.769$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen  $\rho = (\lambda_p - 0.22) / \lambda_p^2 = 0.928$  für  $\lambda_p > 0.673$

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.941$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 820.39 \text{ kN}$$

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 692.31 \text{ kN (maßgebend)}$$

Verstärkung des Stegs durch zwischenliegende Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: Q-Klasse 1, Q-Klasse  $1 \leq 3$  **ok**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfelds (Abstand der Steifen)  $a = 466.4 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen  $h_{wc} = 206.0 \text{ mm}$

Trägheitsmoment der Steifen  $I_{st} = 1157.63 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für  $a/h_{wc} = 2.26 \geq 2^{1/2}$ :  $I_{st,min} = 15.45 \text{ cm}^4 < I_{st}$  **ok**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen  $I_T = 11.25 \text{ cm}^4$

polares Trägheitsmoment der Steifen  $I_p = 127.81 \text{ cm}^4$

$I_T / I_p \approx 0.088 > 0.009 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st}$  **ok**

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

Fläche der Steifen einschl. Steg  $A_{st} = 31.50 \text{ cm}^2$

Schlankheitsgrad  $\lambda = 0.044$

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

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken  $F_{c,w,Rd} = 1016.6 \text{ kN}$

Maximale Tragfähigkeit:

$F_{c,w,Rd} = 1016.6 \text{ kN}$  (Tragfähigkeit mit Quersteifen)

**Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:**

wirksame Breite des Stegs für Querdruck  $b_{eff,c} = t_{fb} + 2 \cdot 2^{1/2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{fc} + s_c) + s_p = 261.3 \text{ mm}$

Abminderungsbeiwert  $k_w = 1.0$  für  $\sigma_{com,Ed} = 47.2 \text{ N/mm}^2 \leq 0.7 \cdot f_{y,w} = 248.5 \text{ N/mm}^2$

Plattenschlankheitsgrad  $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{eff,c} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 0.793$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen  $\rho = (\lambda_p - 0.22) / \lambda_p^2 = 0.911$  für  $\lambda_p > 0.673$

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.937$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 868.94 \text{ kN}$$

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 719.65 \text{ kN (maßgebend)}$$

Verstärkung des Stegs durch zwischenliegende Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: Q-Klasse 1, Q-Klasse  $1 \leq 3$  **ok**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfelds (Abstand der Steifen)  $a = 466.4 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen  $h_{wc} = 206.0 \text{ mm}$

Trägheitsmoment der Steifen  $I_{st} = 1157.63 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für  $a/h_{wc} = 2.26 \geq 2^{1/2}$ :  $I_{st,min} = 15.45 \text{ cm}^4 < I_{st}$  **ok**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen  $I_T = 11.25 \text{ cm}^4$

polares Trägheitsmoment der Steifen  $I_p = 127.81 \text{ cm}^4$

$I_T / I_p \approx 0.088 > 0.009 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st}$  **ok**

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

Fläche der Steifen einschl. Steg  $A_{st} = 31.50 \text{ cm}^2$

Schlankheitsgrad  $\lambda = 0.044$

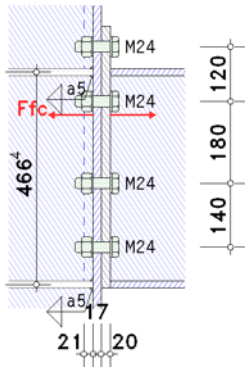
$\lambda \leq 0.2 \Rightarrow$  keine Abminderung ( $\chi = 1.0$ )

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken  $F_{c,w,Rd} = 1016.6 \text{ kN}$

Maximale Tragfähigkeit:

$F_{c,w,Rd} = 1016.6 \text{ kN}$  (Tragfähigkeit mit Quersteifen)

### 5.1.3.3. Gk 4: Stützenflansch mit Biegung



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

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

hier: Anzahl Schraubenreihen  $n_b = 1$

Reihe 1

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 208.6 \text{ mm}$ ,  $l_{eff,cp} = 208.6 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 224.7 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1:  $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.35 \text{ kNm}$

für Modus 2:  $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.76 \text{ kNm}$

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

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

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 857.65 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 436.33 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 436.33 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 208.6 \text{ mm}$ ,  $l_{eff,cp} = 208.6 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 214.2 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1:  $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.35 \text{ kNm}$

für Modus 2:  $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.49 \text{ kNm}$

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

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

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 857.65 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 429.12 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 429.12 \text{ kN}$

Reihe 3

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 208.6 \text{ mm}$ ,  $l_{eff,cp} = 208.6 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 214.1 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1:  $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.35 \text{ kNm}$

für Modus 2:  $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.49 \text{ kNm}$

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

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

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 857.65 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 428.99 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 428.99 \text{ kN}$

Reihe 4

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 208.6 \text{ mm}$ ,  $l_{eff,cp} = 208.6 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 214.1 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1:  $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.35 \text{ kNm}$

für Modus 2:  $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.49 \text{ kNm}$

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

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

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 857.65 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 428.99 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 428.99 \text{ kN}$

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

$F_{t,fc,Rd,1} = 436.33 \text{ kN}$ ,  $l_{eff,1} = 208.6 \text{ mm}$

$F_{t,fc,Rd,2} = 429.12 \text{ kN}$ ,  $l_{eff,2} = 208.6 \text{ mm}$

$F_{t,fc,Rd,3} = 428.99 \text{ kN}$ ,  $l_{eff,3} = 208.6 \text{ mm}$

$F_{t,fc,Rd,4} = 428.99 \text{ kN}$ ,  $l_{eff,4} = 208.6 \text{ mm}$

#### Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):

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

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 394.2 \text{ mm}$ ,  $\Sigma l_{eff,cp} = 568.6 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 394.2 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2:  $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 10.11 \text{ kNm}$

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

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 1620.88 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 834.73 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 834.73 \text{ kN}$

#### Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 2):

hier: Anzahl Schraubenreihen  $n_b = 3$  (zwischen den Steifen)

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 534.2 \text{ mm}$ ,  $\Sigma l_{eff,cp} = 848.6 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 534.2 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2:  $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 13.70 \text{ kNm}$

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

für Modus 3:  $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 1522.80 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 2196.48 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 1212.87 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 1522.80 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 1212.87 \text{ kN}$

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

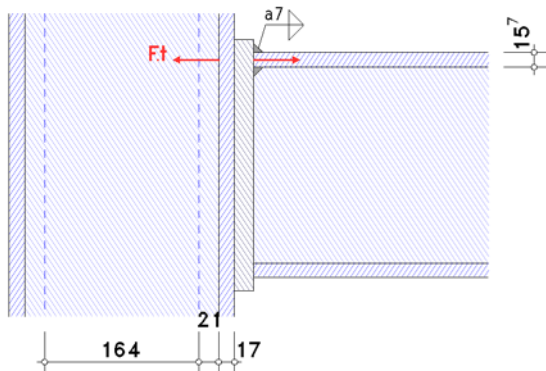
$F_{ep,Rd,2-3} = 834.73 \text{ kN}$ ,  $\Sigma l_{eff} = 394.2 \text{ mm}$ , 2 Reihen

$F_{ep,Rd,2-4} = 1212.87 \text{ kN}$ ,  $\Sigma l_{eff} = 534.2 \text{ mm}$ , 3 Reihen

#### 5.1.3.4. Gk 3: Stützensteg mit Querkraftbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 7.2.3(4))  $\beta_j = |l_1 - M_{j2}/M_{j1} \cdot z_1/z_2| = 0.58 \leq 2$

für  $M_{j1} = 100.00 \text{ kNm}$ ,  $M_{j2} = 100.00 \text{ kNm}$ ,  $z_1 = 372.2 \text{ mm}$ ,  $z_2 = 234.8 \text{ mm}$



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

Für jede einzelne Schraubenreihe:

Reihe 1

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.951$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm}$$

Reihe 2

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.951$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm}$$

Reihe 3

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.951$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm}$$

Reihe 4

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.951$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm}$$

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

$$F_{t,wc,Rd,1} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 4})$$

$$F_{t,wc,Rd,2} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 4})$$

$$F_{t,wc,Rd,3} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 4})$$

$$F_{t,wc,Rd,4} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 4})$$

**Gruppe von Schraubenreihen, Gruppe 1:**

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.910$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 1273.89 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 394.2 \text{ mm}$$

**Gruppe von Schraubenreihen, Gruppe 2:**

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.893$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

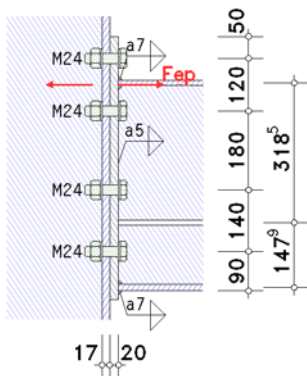
$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 1692.66 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 534.2 \text{ mm}$$

**Tragfähigkeiten eines Stützenstegs mit Querkzug (je Schraubengruppe):**

$$F_{t,wc,Rd,2-3} = 1273.89 \text{ kN}, \quad \Sigma b_{eff,t,wc} = 394.2 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 4}), \quad 2 \text{ Reihen}$$

$$F_{t,wc,Rd,2-4} = 1692.66 \text{ kN}, \quad \Sigma b_{eff,t,wc} = 534.2 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 4}), \quad 3 \text{ Reihen}$$

### 5.1.3.5. Gk 5: Stirnblech mit Biegung



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

#### Überstehender Teil des Stirnblechs

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

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

$$\text{für Modus 1: } \Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 100.0 \text{ mm}, \quad l_{eff,cp} = 222.2 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 2: } \Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 100.0 \text{ mm}$$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

$$\text{für Modus 1+2: } M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 3.55 \text{ kNm}$$

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

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 419.98 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 352.74 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 352.74 \text{ kN}$

Tragfähigkeit und effektive Länge eines Stirnblechs mit Biegung (Überstand)

$$F_{t,ep,Rd,1} = 352.74 \text{ kN}, \quad l_{eff,1} = 100.0 \text{ mm}$$

**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):

$$\text{für Modus 1: } \Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 252.5 \text{ mm}, \quad l_{eff,cp} = 286.5 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 2: } \Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 252.5 \text{ mm}$$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2:  $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 8.96 \text{ kNm}$

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

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

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 975.17 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 450.03 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 450.03 \text{ kN}$

#### Reihe 3

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 239.7 \text{ mm}$ ,  $l_{eff,cp} = 286.5 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 239.7 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2:  $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 8.51 \text{ kNm}$

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

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

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 925.60 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 439.97 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 439.97 \text{ kN}$

#### Reihe 4

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 245.0 \text{ mm}$ ,  $l_{eff,cp} = 286.5 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 245.0 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2:  $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 8.70 \text{ kNm}$

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

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

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 946.03 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 444.11 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 444.11 \text{ kN}$

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

$F_{ep,Rd,2} = 450.03 \text{ kN}$ ,  $l_{eff,2} = 252.5 \text{ mm}$

$F_{ep,Rd,3} = 439.97 \text{ kN}$ ,  $l_{eff,3} = 239.7 \text{ mm}$

$F_{ep,Rd,4} = 444.11 \text{ kN}$ ,  $l_{eff,4} = 245.0 \text{ mm}$

#### Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):

hier: Anzahl Schraubenreihen  $n_b = 2$  (R2+R3)

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 433.5 \text{ mm}$ ,  $\Sigma l_{eff,cp} = 646.5 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 433.5 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2:  $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 15.39 \text{ kNm}$

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

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 1674.36 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 844.05 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

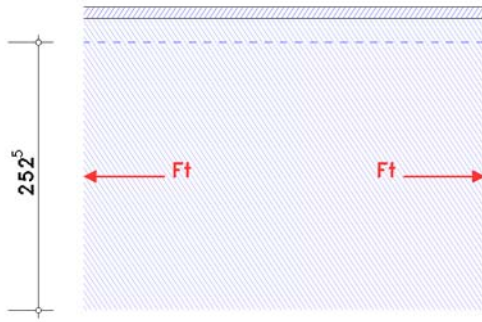
$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 1015.20 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 844.05 \text{ kN}$

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

$F_{ep,Rd,2-3} = 844.05 \text{ kN}$ ,  $\Sigma l_{eff} = 433.5 \text{ mm}$ , 2 Reihen

### 5.1.3.6. 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  $b_{eff,t,wb} = 252.5 \text{ mm}$  ( $l_{eff}$  aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 672.28 \text{ kN}$$

Reihe 3

wirksame Breite  $b_{eff,t,wb} = 239.7 \text{ mm}$  ( $l_{eff}$  aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 638.10 \text{ kN}$$

Reihe 4

wirksame Breite  $b_{eff,t,wb} = 245.0 \text{ mm}$  ( $l_{eff}$  aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 652.18 \text{ kN}$$

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

$$F_{t,wb,Rd,2} = 672.28 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wb} = 252.5 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 5})$$

$$F_{t,wb,Rd,3} = 638.10 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wb} = 239.7 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 5})$$

$$F_{t,wb,Rd,4} = 652.18 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wb} = 245.0 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 5})$$

**Gruppe von Schraubenreihen, Gruppe 1:**

wirksame Breite  $b_{eff,t,wb} = 433.5 \text{ mm}$  ( $l_{eff}$  aus Gk 5)

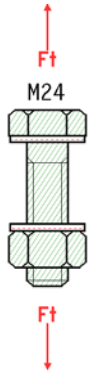
Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 1154.29 \text{ kN}$$

**Tragfähigkeiten eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung (je Schraubengruppe):**

$$F_{t,wb,Rd,2-3} = 1154.29 \text{ kN}, \quad \Sigma b_{eff,t,wb} = 433.5 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 5}), \quad 2 \text{ Reihen}$$

### 5.1.3.7. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



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

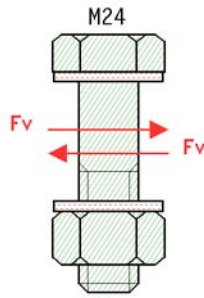
Zugtragfähigkeit einer Schraube  $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 253.80 \text{ kN}$ ,  $k_2 = 0.90$

Durchstantragfähigkeit einer Schraube  $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 541.39 \text{ kN}$ ,  $t_p = 17.0 \text{ mm}$

Zug-/Durchstantragfähigkeit für 2 Schrauben:  $\Sigma F_{tp,Rd} = 2 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 507.60 \text{ kN}$

### 5.1.3.8. Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung

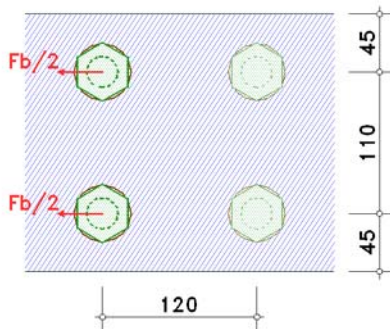
In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.



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):  $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 434.29 \text{ kN}$

### 5.1.3.9. 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  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 361.85 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 1.92$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 361.85 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 1.92$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 723.69 \text{ kN}$

Blockversagen von Schraubengruppen

Schubversagen in Kombination mit Zugversagen des Blechs

Versagensform 1:

Zug-Schubwiderstand  $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u + \min(A_{gv} \cdot f_y, A_{nv} \cdot f_u) / 3^{1/2}) / \gamma_{M2} = 822.53 \text{ kN}$

Versagensform 2:

Zug-Schubwiderstand  $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u + \min(A_{gv} \cdot f_y, A_{nv} \cdot f_u) / 3^{1/2}) / \gamma_{M2} = 665.73 \text{ kN}$

Versagensform 3:

Zug-Schubwiderstand  $V_{eff,Rd} = (0.5 \cdot A_{nt} \cdot f_u + \min(A_{gv} \cdot f_y, A_{nv} \cdot f_u) / 3^{1/2}) / \gamma_{M2} = 567.73 \text{ kN}$

Versagensform 4:

Zugwiderstand (ohne Schubanteil)  $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 1160.32 \text{ kN}$

Tragfähigkeit aus Blockversagen:  $\min V_{eff,Rd} = 567.7 \text{ kN}$

Gesamt

Lochleibungstragfähigkeit einschl. Blockversagen:  $\min(\Sigma F_{b,Rd}, \min V_{eff,Rd}) = 567.7 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 852.99 \text{ kN}$

Reihe 2

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 564.48 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 564.48 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 1003.52 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 852.99 \text{ kN}$

Reihe 3

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 564.48 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 564.48 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 1003.52 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 852.99 \text{ kN}$

#### Reihe 4

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 564.48 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 564.48 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 1003.52 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 852.99 \text{ kN}$

#### Lochleibungstragfähigkeiten (4 Reihen)

$\Sigma F_{b,Rd,1} = 567.73 \text{ kN}$

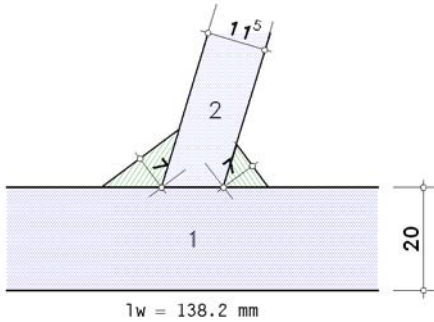
$\Sigma F_{b,Rd,2} = 852.99 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,3} = 852.99 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,4} = 852.99 \text{ kN}$

#### 5.1.3.10. Gk 19: Schweißnaht

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



Berechnung mit dem vereinfachten Verfahren

#### Trägerflansch mit Druck

Tragfähigkeit einer Schweißnaht:  $F_{w,Rd} = f_{wv,d} \cdot a = 1760.28 \text{ kN/m}$ ,  $f_{wv,d} = 251.5 \text{ N/mm}^2$ ,  $a = 7.0 \text{ mm}$

Gesamt  $F_{w,Rd} = 486.7 \text{ kN}$

#### 5.1.3.11. Gk 20: Gevouteter Träger mit Druckbeanspruchung

Flansch unten: Q-Klasse 1

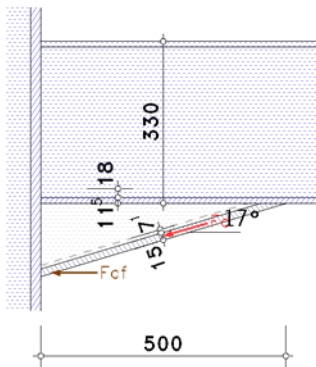
Steg: Q-Klasse 1

Gesamt: Q-Klasse 1

Querschnittsklasse des Trägers in der Anschlussebene: 1

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion  $V_{Ed} = 200.0 \text{ kN}$

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



Voraussetzung: Voutenflansch nicht beulgefährdet:  $1 < 3$  **ok**

#### Anschluss Voute-Stütze: (Grundkomponente 7: Trägerflansch und -steg mit Druck)

Höhe des Trägers einschließlich Voute  $h = h_b + h_v = 480.0 \text{ mm}$

Tragfähigkeit nur des Flanschs (ohne Steg, plastisch: Q-Klasse 1)

Flanschbreite der Voute  $b_{f,v} = 160.0 \text{ mm} < \max b_{f,v} = 535.1 \text{ mm}$  **ok**

Tragfähigkeit  $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 413.04 \text{ kNm}$ ,  $W_{pl} = 1163.51 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs und Stegs mit Druck

$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 889.52 \text{ kN}$

bezogen auf den Voutenflansch  $F_{c,f,Rd} / \cos(\alpha_v) = 928.69 \text{ kN}$

#### Gesamttragfähigkeit eines gevouteten Trägers mit Druckbeanspruchung

$F_{c,v,Rd} = F_{c,f,Rd} = 928.69 \text{ kN}$

Tragfähigkeit bezogen auf die Anschlussebene  $F_{c,v,Rd} \cdot \cos(\alpha_v) = 889.52 \text{ kN}$

#### Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs (Gk 7):

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft:  $V_{Ed} = 200.0 \text{ kN} \leq 351.3 \text{ kN} = 0.5 \cdot V_{pl,Rd} / 2 \Rightarrow$  kein Einfluss

Tragfähigkeit  $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 444.99 \text{ kNm}$ ,  $W_{pl} = 1253.49 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs und Stegs mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 949.80 \text{ kN}$$

#### 5.1.4. Anschluss Tragfähigkeit

Übertragungsparameter:  $\beta_j = 0.58$

##### 5.1.4.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt:

$$h_1 = 522.2 \text{ mm}, h_2 = 402.2 \text{ mm}, h_3 = 222.2 \text{ mm}, h_4 = 82.2 \text{ mm}$$

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

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 352.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 429.0 \text{ kN}$

Reihe 4:  $F_{tr,Rd} = 429.0 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

##### Gruppe 1

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 405.6 \text{ kN}$

##### Gruppe 2

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 405.6 \text{ kN}$

Reihe 4:  $F_{tr,Rd} = 378.1 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

##### Gruppe 1

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 405.6 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 352.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 405.6 \text{ kN}$

Reihe 4:  $F_{tr,Rd} = 378.1 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 1565.6 \text{ kN}$$

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

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 20

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 352.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 107.7 \text{ kN}$

Reihe 4:  $F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 352.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 107.7 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 352.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 107.7 \text{ kN}$

Reihe 4:  $F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{tr,Rd} = 889.5 \text{ kN}$$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 4, 5, 20

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$$\Sigma F_{c,Rd}^* = 1839.3 \text{ kN}$$

Biegetragfähigkeit

$$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 380.7 \text{ kNm}$$

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 1565.6 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 1839.3 \text{ kN}$$

### 5.1.4.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

#### Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

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

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

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

Reihe 4:  $F_{v,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1:  $F_{v,Rd} = 218.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{v,Rd} = 172.0 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{v,Rd} = 368.5 \text{ kN}$

Reihe 4:  $F_{v,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

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

Reihe 1:  $F_{v,Rd} = 218.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{v,Rd} = 172.0 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{v,Rd} = 368.5 \text{ kN}$

Reihe 4:  $F_{v,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

$\Sigma F_{v,Rd} = 1193.6 \text{ kN}$

#### Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$V_{j,Rd} = \Sigma F_{v,Rd} = 1193.6 \text{ kN}$

### 5.1.4.3. Schubtragfähigkeit

#### Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

Stirnblech:  $V_{ep,Rd} = 1708.73 \text{ kN}$

Schweißnähte:  $F_{w,Rd} = 1048.24 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit:  $V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 1048.24 \text{ kN}$

#### Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

$V_{wp,Rd} = 664.36 \text{ kN}$

### 5.1.4.4. Gesamt

$M_{j,Rd} = 380.7 \text{ kNm}$   $N_{j,t,Rd} = 1565.6 \text{ kN}$   $N_{j,c,Rd} = 1839.3 \text{ kN}$   $V_{j,Rd} = 1193.6 \text{ kN}$   $V_{wp,Rd} = 664.4 \text{ kN}$   $V_{ep,Rd} = 1048.2 \text{ kN}$

### 5.1.5. Nachweise

#### 5.1.5.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Biegemoment:  $M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu} = 81.88 \text{ kNm}$ ,  $z_{bu} = 211.4 \text{ mm}$

Querkraft:  $V_{Ed} = |V_d| = 197.88 \text{ kN}$

Schubkraft:  $V_{b,w,Ed} = 156.47 \text{ kN}$

$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.215 < 1$  ok

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit bei nur 21.5%-iger Ausnutzung der Biegetragfähigkeit  $V_{j,Rd} = 1620.3 \text{ kN}$

$V_{Ed}/V_{j,Rd} = 0.122 < 1$  ok

$V_{b,w,Ed}/V_{ep,Rd} = 0.149 < 1$  ok

#### 5.1.5.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

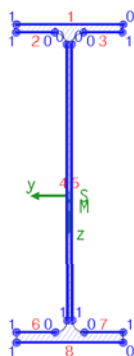
Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig

Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

#### Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:  $a_w = 7.0 \text{ mm}$   $l_w = 160.0 \text{ mm}$

Naht 2:  $a_w = 7.0 \text{ mm}$   $l_w = 58.3 \text{ mm}$

Naht 3: siehe Naht 2

Naht 4:  $a_w = 5.0 \text{ mm}$   $l_w = 416.8 \text{ mm}$

Naht 5: siehe Naht 4

Naht 6:  $a_w = 7.0 \text{ mm}$   $l_w = 58.3 \text{ mm}$

Naht 7: siehe Naht 6

Naht 8:  $a_w = 7.0 \text{ mm}$   $l_w = 160.0 \text{ mm}$

#### Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$N_{Ed} = 29.04 \text{ kN}$ ,  $M_{y,Ed} = -75.74 \text{ kNm}$ ,  $V_{z,Ed} = 197.88 \text{ kN}$

**Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:**

$\Sigma A_w = 80.39 \text{ cm}^2$ ,  $A_{w,z} = 41.68 \text{ cm}^2$ ,  $\Sigma I_w = 138.7 \text{ cm}^4$   
 $I_{w,y} = 27301.20 \text{ cm}^4$ ,  $I_{w,z} = 951.99 \text{ cm}^4$ ,  $\Delta z_w = -19.3 \text{ mm}$

**Schnittgrößenverteilung:**

Naht 1:  $N_w = 78.16 \text{ kN}$   
 Naht 2:  $N_w = 27.15 \text{ kN}$   
 Naht 3: siehe Naht 2  
 Naht 4:  $N_w = 7.86 \text{ kN}$   $M_{y,w} = -8.37 \text{ kNm}$   
 Naht 5: siehe Naht 4  
 Naht 6:  $N_w = -24.08 \text{ kN}$   
 Naht 7: siehe Naht 6  
 Naht 8:  $N_w = -71.00 \text{ kN}$

aus konventioneller Querkraftaufteilung:  $V_{z,w} = 197.88 \text{ kN}$

**Nachweise in den Endpunkten der Nähte:**

Naht 1, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = 69.78 \text{ N/mm}^2$   $\Rightarrow U_w = 0.277 < 1$  **ok**  
 Naht 2, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = 66.59 \text{ N/mm}^2$   $\Rightarrow U_w = 0.265 < 1$  **ok**  
 Naht 4, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = 61.60 \text{ N/mm}^2$   $\tau_{w,z} = 47.47 \text{ N/mm}^2$   $\Rightarrow U_w = 0.309 < 1$  **ok**  
 Pkt. 1:  $\sigma_{w,x} = -54.05 \text{ N/mm}^2$   $\tau_{w,z} = 47.47 \text{ N/mm}^2$   $\Rightarrow U_w = 0.286 < 1$  **ok**  
 Naht 6, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = -59.04 \text{ N/mm}^2$   $\Rightarrow U_w = 0.235 < 1$  **ok**  
 Naht 8, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = -63.39 \text{ N/mm}^2$   $\Rightarrow U_w = 0.252 < 1$  **ok**

**Ergebnis:**

Naht 4, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = 61.60 \text{ N/mm}^2$   $\tau_{w,z} = 47.47 \text{ N/mm}^2$   
 Max:  $F_{w,Ed} = 388.83 \text{ kN/m} < F_{w,Rd} = 1257.34 \text{ kN/m} \Rightarrow U_w = 0.309 < 1$  **ok**

**Nachweis der Umlenkräfte (Gk 19, vereinfachtes Verfahren)**

Druckflansch:  $F_{Rd} = F_{w,Rd} = 486.7 \text{ kN}$ ,  $F_{Ed} = 144.10 \text{ kN}$   
 $F_{Ed} = 144.1 \text{ kN} < F_{Rd} = 486.7 \text{ kN} \Rightarrow U_{w,f} = 0.296 < 1$  **ok**

**5.1.5.3. Nachweisergebnis**

Maximale Ausnutzung:  $\max U = 0.309 < 1$  **ok**

**5.1.6. Rotationssteifigkeit**

**Steifigkeitskoeffizienten**

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 4 Zug-Schraubenreihen:

- 1:  $k_3 = 8.90 \text{ mm}$ ,  $k_4 = 25.21 \text{ mm}$ ,  $k_5 = 9.66 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 3.914 \text{ mm}$
- 2:  $k_3 = 8.90 \text{ mm}$ ,  $k_4 = 25.21 \text{ mm}$ ,  $k_5 = 19.18 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 4.899 \text{ mm}$
- 3:  $k_3 = 8.90 \text{ mm}$ ,  $k_4 = 25.21 \text{ mm}$ ,  $k_5 = 18.21 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,3} = 1 / \Sigma(1/k_{i,3}) = 4.833 \text{ mm}$
- 4:  $k_3 = 8.90 \text{ mm}$ ,  $k_4 = 25.21 \text{ mm}$ ,  $k_5 = 18.61 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,4} = 1 / \Sigma(1/k_{i,4}) = 4.861 \text{ mm}$

äquivalenter innerer Hebelarm  $z_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h \cdot r^2) / \Sigma(k_{eff,r} \cdot h \cdot r) = 388.36 \text{ mm}$

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient  $k_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h \cdot r) / z_{eq} = 14.130 \text{ mm}$

$k_2 = \infty$  (ausgesteift)

**Rotationssteifigkeit**

Anfangsrotationssteifigkeit:  $S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 447529.3 \text{ kNm/rad}$ ,  $z = z_{eq} = 388.4 \text{ mm}$ ,  $\Sigma(1/k_i) = 0.071 \text{ mm}^{-1}$

$IM_{j,Ed} = 81.88 \text{ kNm} \leq 2/3 M_{j,Rd} = 253.79 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = 1$

Rotationssteifigkeit:  $S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 447529.3 \text{ kNm/rad}$

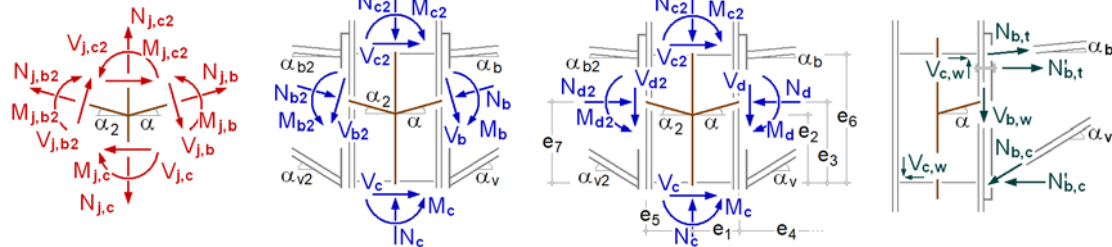
Verdrehung:  $\varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.010^\circ$

**5.2. Anschluss links**

**5.2.1. Bemessungsgrößen**

Knotenschnittgrößen Anschnitt Anschluss  $\perp$  zur Anschlussebene

Teilschnittgrößen



Neigungswinkel:  $\alpha_b = 0.00^\circ$ ,  $\alpha_v = 16.70^\circ \Rightarrow \alpha = (\alpha_b + \alpha_v) / 2 = 8.35^\circ$

$\alpha_{b2} = 0.00^\circ$ ,  $\alpha_{v2} = 16.70^\circ \Rightarrow \alpha_2 = (\alpha_{b2} + \alpha_{v2}) / 2 = 8.35^\circ$

Abstände:  $e_1 = 120.0 \text{ mm}$ ,  $e_3 = 234.4 \text{ mm}$ ,  $e_2 = 216.8 \text{ mm}$ ,  $e_5 = 120.0 \text{ mm}$ ,  $e_7 = 234.4 \text{ mm}$ ,  $e_6 = 466.4 \text{ mm}$

**Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen**

Anschnitt Träger (rechts)

$N_d = -29.04 \text{ kN}$ ,  $M_d = 75.74 \text{ kNm}$ ,  $V_d = 197.88 \text{ kN}$

Anschnitt Träger (links)

$N_{d2} = -29.04 \text{ kN}$ ,  $M_{d2} = 75.74 \text{ kNm}$ ,  $V_{d2} = 197.88 \text{ kN}$

Anschnitt Stütze (unten)

$N_c = 500.00 \text{ kN}$   
 Anschnitt Stütze (oben)  
 $N_{c2} = 100.00 \text{ kN}$

### Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger:  $M'_d = M_d + N_d \cdot t_p \cdot \tan(\alpha) - V_d \cdot t_p = 71.70 \text{ kNm}$   
 $N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu} / z_b + M'_d / z_b = 167.07 \text{ kN}$ ,  $z_b = 466.4 \text{ mm}$ ,  $z_{bu} = 214.3 \text{ mm}$   
 $N_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo} / z_b + M'_d / z_b) / \cos(\alpha_v) = 144.10 \text{ kN}$ ,  $z_b = 466.4 \text{ mm}$ ,  $z_{bo} = 252.1 \text{ mm}$   
 $V_{b,t} = -N_{b,t} \cdot \sin(\alpha_b) = 0.00 \text{ kN}$ ,  $V_{b,c} = N_{b,c} \cdot \sin(\alpha_v) = 41.41 \text{ kN}$ ,  $V_{b,w} = V_d - V_{b,t} - V_{b,c} = 156.47 \text{ kN}$

### 5.2.2. Querschnittstragfähigkeit im Anschnitt

c/t-Ausnutzung bzgl. Q-Klasse 2

Flansch unten: Q-Klasse 1, Ausnutzung  $U_{c/t} = 0.457$

Steg: Q-Klasse 1, Ausnutzung  $U_{c/t} = 0.683$

Gesamt: Q-Klasse 1, c/t-Ausnutzung  $U_{c/t} = 0.683 < 1$  **ok**

plastischer Spannungsnachweis für  $N_{Ed} = 29.04 \text{ kN}$ ,  $M_{y,Ed} = -71.70 \text{ kNm}$ ,  $V_{z,Ed} = 197.88 \text{ kN}$

Q-Klasse des Profils  $1 \leq 2$  **ok**

Schubbeulen:  $h_p / t_p = 60.38 > 72 \cdot \epsilon / \eta = 48.82 \Rightarrow$  genauer Nachweis erforderlich !!

Der Querschnitt ist plastisch nicht nachweisbar !!

elastischer Spannungsnachweis für  $N = 29.04 \text{ kN}$ ,  $M_y = -71.70 \text{ kNm}$ ,  $V_z = 197.88 \text{ kN}$

Nachweis:  $\sigma_v = 108.81 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{v,Rd} = 355.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_\sigma = 0.306 < 1$  **ok**

c/t-Verhältnis: einseitig gestützt: Ausnutzung  $U_{c/t} = 0.145 < 1$  **ok**

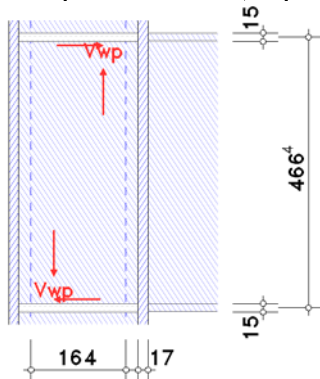
beidseitig gestützt: Ausnutzung  $U_{c/t} = 0.215 < 1$  **ok**

### 5.2.3. Grundkomponenten

#### 5.2.3.1. Gk 1: Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 7.2.3(4))  $\beta_j = |1 - M_{j2} / M_{j1} \cdot z_1 / z_2| = 0.58 \leq 2$

für  $M_{j1} = 100.00 \text{ kNm}$ ,  $M_{j2} = 100.00 \text{ kNm}$ ,  $z_1 = 372.2 \text{ mm}$ ,  $z_2 = 234.8 \text{ mm}$



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

Schlankheit des Stützenstegs  $h_{wc} / t_{wc} = 20.60 < 72 \cdot \epsilon / \eta = 48.82 \Rightarrow$  Verfahren anwendbar

plastische Schubtragfähigkeit ohne Stegsteifen  $V_{wp,Rd} = (0.9 \cdot f_{y,w} \cdot A_{wp}) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 442.71 \text{ kN}$

Beitrag des Stützenflanschs:

zusätzliche Tragfähigkeit  $V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd} / z_{wp} = 110.8 \text{ kN}$ ,  $z_{wp} = h_r = 222.2 \text{ mm}$

plastische Schubtragfähigkeit zzgl. Beitrag des Stützenflanschs  $V_{wp,Rd} = 553.5 \text{ kN}$

Anordnung von zwischenliegenden Stegsteifen:

zusätzliche Tragfähigkeit  $V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd} / h_r + 2 \cdot M_{pl,st,Rd} / h_r = 110.83 \text{ kN}$

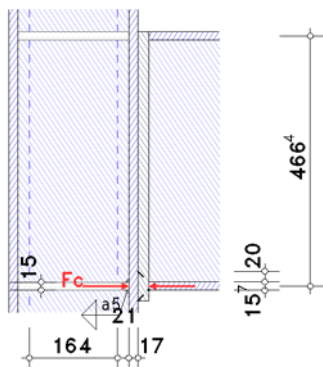
plastische Schubtragfähigkeit mit Quersteifen  $V_{wp,Rd} = 664.36 \text{ kN}$

### 5.2.3.2. Gk 2: Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 7.2.3(4))  $\beta_j = |1 - M_{j2}/M_{j1} \cdot z_1/z_2| = 0.58 \leq 2$

für  $M_{j1} = 100.00 \text{ kNm}$ ,  $M_{j2} = 100.00 \text{ kNm}$ ,  $z_1 = 372.2 \text{ mm}$ ,  $z_2 = 234.8 \text{ mm}$

Längsdruckspannung im Stützensteg  $\sigma_{\text{com,Ed}} = 47.18 \text{ N/mm}^2$



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

wirksame Breite des Stegs für Querdruck  $b_{\text{eff,c}} = t_{\text{fb}} + 5 \cdot (t_{\text{fc}} + s_{\text{c}}) + s_{\text{p}} = 245.7 \text{ mm}$

Abminderungsbeiwert  $k_w = 1.0$  für  $\sigma_{\text{com,Ed}} = 47.2 \text{ N/mm}^2 \leq 0.7 \cdot f_{y,w} = 248.5 \text{ N/mm}^2$

Plattenschlankheitsgrad  $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{\text{eff,c}} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 0.769$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen  $\rho = (\lambda_p - 0.22) / \lambda_p^2 = 0.928$  für  $\lambda_p > 0.673$

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.941$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{\text{eff,c}} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 820.39 \text{ kN}$$

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{\text{eff,c}} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 692.31 \text{ kN (maßgebend)}$$

Verstärkung des Stegs durch zwischenliegende Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: Q-Klasse 1, Q-Klasse  $1 \leq 3$  **ok**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfelds (Abstand der Steifen)  $a = 466.4 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen  $h_{wc} = 206.0 \text{ mm}$

Trägheitsmoment der Steifen  $I_{st} = 1157.63 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für  $a/h_{wc} = 2.26 \geq 2^{1/2}$ :  $I_{st,min} = 15.45 \text{ cm}^4 < I_{st}$  **ok**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen  $I_T = 11.25 \text{ cm}^4$

polares Trägheitsmoment der Steifen  $I_p = 127.81 \text{ cm}^4$

$I_T / I_p \approx 0.088 > 0.009 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st}$  **ok**

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

Fläche der Steifen einschl. Steg  $A_{st} = 31.50 \text{ cm}^2$

Schlankheitsgrad  $\lambda = 0.044$

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

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken  $F_{c,w,Rd} = 1016.6 \text{ kN}$

Maximale Tragfähigkeit:

$F_{c,w,Rd} = 1016.6 \text{ kN}$  (Tragfähigkeit mit Quersteifen)

**Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:**

wirksame Breite des Stegs für Querdruck  $b_{\text{eff,c}} = t_{\text{fb}} + 2 \cdot 2^{1/2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{\text{fc}} + s_{\text{c}}) + s_{\text{p}} = 261.3 \text{ mm}$

Abminderungsbeiwert  $k_w = 1.0$  für  $\sigma_{\text{com,Ed}} = 47.2 \text{ N/mm}^2 \leq 0.7 \cdot f_{y,w} = 248.5 \text{ N/mm}^2$

Plattenschlankheitsgrad  $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{\text{eff,c}} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 0.793$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen  $\rho = (\lambda_p - 0.22) / \lambda_p^2 = 0.911$  für  $\lambda_p > 0.673$

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.937$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{\text{eff,c}} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 868.94 \text{ kN}$$

$$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{\text{eff,c}} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 719.65 \text{ kN (maßgebend)}$$

Verstärkung des Stegs durch zwischenliegende Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: Q-Klasse 1, Q-Klasse  $1 \leq 3$  **ok**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfelds (Abstand der Steifen)  $a = 466.4 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen  $h_{wc} = 206.0 \text{ mm}$

Trägheitsmoment der Steifen  $I_{st} = 1157.63 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für  $a/h_{wc} = 2.26 \geq 2^{1/2}$ :  $I_{st,min} = 15.45 \text{ cm}^4 < I_{st}$  **ok**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen  $I_T = 11.25 \text{ cm}^4$

polares Trägheitsmoment der Steifen  $I_p = 127.81 \text{ cm}^4$

$I_T / I_p \approx 0.088 > 0.009 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st}$  **ok**

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

Fläche der Steifen einschl. Steg  $A_{st} = 31.50 \text{ cm}^2$

Schlankheitsgrad  $\lambda = 0.044$

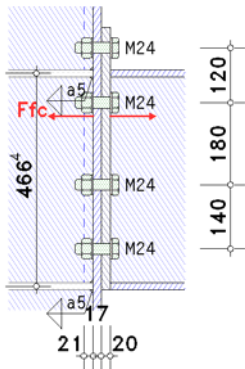
$\lambda \leq 0.2 \Rightarrow$  keine Abminderung ( $\chi = 1.0$ )

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken  $F_{c,w,Rd} = 1016.6 \text{ kN}$

Maximale Tragfähigkeit:

$F_{c,w,Rd} = 1016.6 \text{ kN}$  (Tragfähigkeit mit Quersteifen)

### 5.2.3.3. Gk 4: Stützenflansch mit Biegung



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

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

hier: Anzahl Schraubenreihen  $n_b = 1$

Reihe 1

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 208.6 \text{ mm}$ ,  $l_{eff,cp} = 208.6 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 224.7 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1:  $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.35 \text{ kNm}$

für Modus 2:  $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.76 \text{ kNm}$

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

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

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 857.65 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 436.33 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 436.33 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 208.6 \text{ mm}$ ,  $l_{eff,cp} = 208.6 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 214.2 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1:  $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.35 \text{ kNm}$

für Modus 2:  $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.49 \text{ kNm}$

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

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

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 857.65 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 429.12 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 429.12 \text{ kN}$

Reihe 3

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 208.6 \text{ mm}$ ,  $l_{eff,cp} = 208.6 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 214.1 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1:  $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.35 \text{ kNm}$

für Modus 2:  $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.49 \text{ kNm}$

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

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

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 857.65 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 428.99 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 428.99 \text{ kN}$

Reihe 4

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 208.6 \text{ mm}$ ,  $l_{eff,cp} = 208.6 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 214.1 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1:  $M_{pl,1,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.35 \text{ kNm}$

für Modus 2:  $M_{pl,2,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 5.49 \text{ kNm}$

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

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

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 857.65 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 428.99 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 428.99 \text{ kN}$

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

$F_{t,fc,Rd,1} = 436.33 \text{ kN}$ ,  $l_{eff,1} = 208.6 \text{ mm}$

$F_{t,fc,Rd,2} = 429.12 \text{ kN}$ ,  $l_{eff,2} = 208.6 \text{ mm}$

$F_{t,fc,Rd,3} = 428.99 \text{ kN}$ ,  $l_{eff,3} = 208.6 \text{ mm}$

$F_{t,fc,Rd,4} = 428.99 \text{ kN}$ ,  $l_{eff,4} = 208.6 \text{ mm}$

#### Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):

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

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 394.2 \text{ mm}$ ,  $\Sigma l_{eff,cp} = 568.6 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 394.2 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2:  $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 10.11 \text{ kNm}$

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

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 1620.88 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 834.73 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 834.73 \text{ kN}$

#### Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 2):

hier: Anzahl Schraubenreihen  $n_b = 3$  (zwischen den Steifen)

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1:  $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 534.2 \text{ mm}$ ,  $\Sigma l_{eff,cp} = 848.6 \text{ mm}$

für Modus 2:  $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 534.2 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2:  $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 13.70 \text{ kNm}$

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

für Modus 3:  $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 1522.80 \text{ kN}$

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m+n)) = 2196.48 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 1212.87 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 1522.80 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 1212.87 \text{ kN}$

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

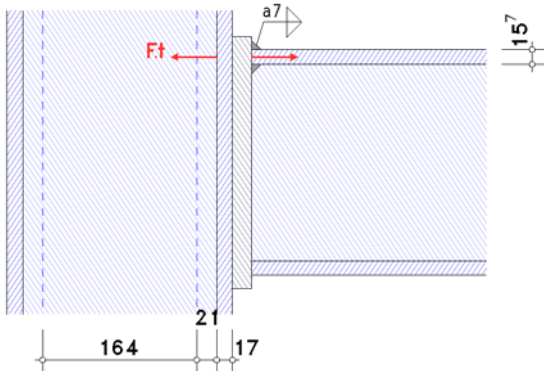
$F_{ep,Rd,2-3} = 834.73 \text{ kN}$ ,  $\Sigma l_{eff} = 394.2 \text{ mm}$ , 2 Reihen

$F_{ep,Rd,2-4} = 1212.87 \text{ kN}$ ,  $\Sigma l_{eff} = 534.2 \text{ mm}$ , 3 Reihen

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

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 7.2.3(4))  $\beta_j = |1 - M_{j2}/M_{j1} \cdot z_1/z_2| = 0.58 \leq 2$

für  $M_{j1} = 100.00 \text{ kNm}$ ,  $M_{j2} = 100.00 \text{ kNm}$ ,  $z_1 = 372.2 \text{ mm}$ ,  $z_2 = 234.8 \text{ mm}$



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

Für jede einzelne Schraubenreihe:

Reihe 1

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.951$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm}$$

Reihe 2

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.951$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm}$$

Reihe 3

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.951$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm}$$

Reihe 4

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.951$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm}$$

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

$$F_{t,wc,Rd,1} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 4})$$

$$F_{t,wc,Rd,2} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 4})$$

$$F_{t,wc,Rd,3} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 4})$$

$$F_{t,wc,Rd,4} = 704.13 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 208.6 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 4})$$

**Gruppe von Schraubenreihen, Gruppe 1:**

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.910$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 1273.89 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 394.2 \text{ mm}$$

**Gruppe von Schraubenreihen, Gruppe 2:**

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $0.5 < \beta < 1 \Rightarrow \omega = 0.893$

Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs mit Querkzug

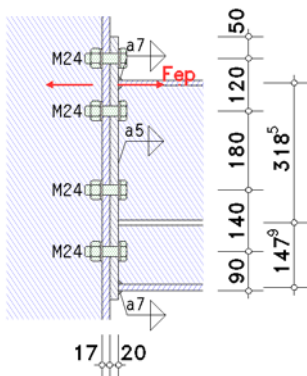
$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 1692.66 \text{ kN}, \quad b_{eff,t,wc} = 534.2 \text{ mm}$$

**Tragfähigkeiten eines Stützenstegs mit Querkzug (je Schraubengruppe):**

$$F_{t,wc,Rd,2-3} = 1273.89 \text{ kN}, \quad \Sigma b_{eff,t,wc} = 394.2 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 4}), \quad 2 \text{ Reihen}$$

$$F_{t,wc,Rd,2-4} = 1692.66 \text{ kN}, \quad \Sigma b_{eff,t,wc} = 534.2 \text{ mm} \quad (\text{s. Gk 4}), \quad 3 \text{ Reihen}$$

### 5.2.3.5. Gk 5: Stirnblech mit Biegung



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

#### Überstehender Teil des Stirnblechs

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

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

$$\text{für Modus 1: } \Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 100.0 \text{ mm}, \quad l_{eff,cp} = 222.2 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 2: } \Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 100.0 \text{ mm}$$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

$$\text{für Modus 1+2: } M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 3.55 \text{ kNm}$$

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

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 419.98 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 352.74 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

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

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs:  $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 352.74 \text{ kN}$

Tragfähigkeit und effektive Länge eines Stirnblechs mit Biegung (Überstand)

$$F_{t,ep,Rd,1} = 352.74 \text{ kN}, \quad l_{eff,1} = 100.0 \text{ mm}$$

**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):

$$\text{für Modus 1: } \Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 252.5 \text{ mm}, \quad l_{eff,cp} = 286.5 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 2: } \Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 252.5 \text{ mm}$$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

$$\text{für Modus 1+2: } M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 8.96 \text{ kNm}$$

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

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 975.17 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 450.03 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

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

$$\text{Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: } F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 450.03 \text{ kN}$$

Reihe 3

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

$$\text{für Modus 1: } \Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 239.7 \text{ mm}, \quad l_{eff,cp} = 286.5 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 2: } \Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 239.7 \text{ mm}$$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

$$\text{für Modus 1+2: } M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 8.51 \text{ kNm}$$

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

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 925.60 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 439.97 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

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

$$\text{Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: } F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 439.97 \text{ kN}$$

Reihe 4

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

$$\text{für Modus 1: } \Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 245.0 \text{ mm}, \quad l_{eff,cp} = 286.5 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 2: } \Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 245.0 \text{ mm}$$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

$$\text{für Modus 1+2: } M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 8.70 \text{ kNm}$$

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

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 946.03 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 444.11 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

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

$$\text{Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: } F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 444.11 \text{ kN}$$

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

$$F_{ep,Rd,2} = 450.03 \text{ kN}, \quad l_{eff,2} = 252.5 \text{ mm}$$

$$F_{ep,Rd,3} = 439.97 \text{ kN}, \quad l_{eff,3} = 239.7 \text{ mm}$$

$$F_{ep,Rd,4} = 444.11 \text{ kN}, \quad l_{eff,4} = 245.0 \text{ mm}$$

**Äquivalenter T-Stummelflansch (Schraubengruppe 1):**

hier: Anzahl Schraubenreihen  $n_b = 2$  (R2+R3)

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

$$\text{für Modus 1: } \Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 433.5 \text{ mm}, \quad \Sigma l_{eff,cp} = 646.5 \text{ mm}$$

$$\text{für Modus 2: } \Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 433.5 \text{ mm}$$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

$$\text{für Modus 1+2: } M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 15.39 \text{ kNm}$$

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

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

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,1,Rd} = ((8 \cdot n \cdot 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}) / (2 \cdot m \cdot n \cdot e_w \cdot (m+n)) = 1674.36 \text{ kN}$$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 844.05 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

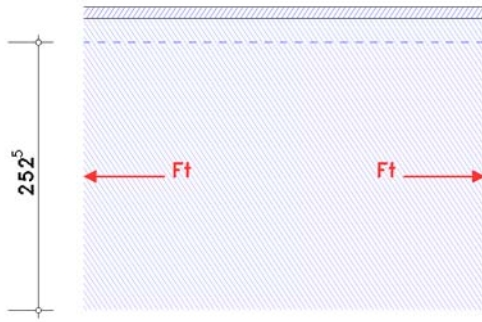
$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 1015.20 \text{ kN}$$

$$\text{Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: } F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 844.05 \text{ kN}$$

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

$$F_{ep,Rd,2-3} = 844.05 \text{ kN}, \quad \Sigma l_{eff} = 433.5 \text{ mm}, \quad 2 \text{ Reihen}$$

### 5.2.3.6. 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  $b_{eff,t,wb} = 252.5 \text{ mm}$  ( $l_{eff}$  aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 672.28 \text{ kN}$$

Reihe 3

wirksame Breite  $b_{eff,t,wb} = 239.7 \text{ mm}$  ( $l_{eff}$  aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 638.10 \text{ kN}$$

Reihe 4

wirksame Breite  $b_{eff,t,wb} = 245.0 \text{ mm}$  ( $l_{eff}$  aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 652.18 \text{ kN}$$

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

$F_{t,wb,Rd,2} = 672.28 \text{ kN}$ ,  $b_{eff,t,wb} = 252.5 \text{ mm}$  (s. Gk 5)

$F_{t,wb,Rd,3} = 638.10 \text{ kN}$ ,  $b_{eff,t,wb} = 239.7 \text{ mm}$  (s. Gk 5)

$F_{t,wb,Rd,4} = 652.18 \text{ kN}$ ,  $b_{eff,t,wb} = 245.0 \text{ mm}$  (s. Gk 5)

**Gruppe von Schraubenreihen, Gruppe 1:**

wirksame Breite  $b_{eff,t,wb} = 433.5 \text{ mm}$  ( $l_{eff}$  aus Gk 5)

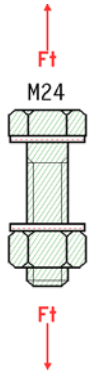
Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 1154.29 \text{ kN}$$

**Tragfähigkeiten eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung (je Schraubengruppe):**

$F_{t,wb,Rd,2-3} = 1154.29 \text{ kN}$ ,  $\Sigma b_{eff,t,wb} = 433.5 \text{ mm}$  (s. Gk 5), 2 Reihen

### 5.2.3.7. Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



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

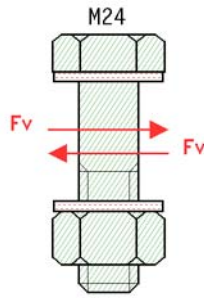
Zugtragfähigkeit einer Schraube  $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 253.80 \text{ kN}$ ,  $k_2 = 0.90$

Durchstantragfähigkeit einer Schraube  $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 541.39 \text{ kN}$ ,  $t_p = 17.0 \text{ mm}$

Zug-/Durchstantragfähigkeit für 2 Schrauben:  $\Sigma F_{tp,Rd} = 2 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 507.60 \text{ kN}$

### 5.2.3.8. Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung

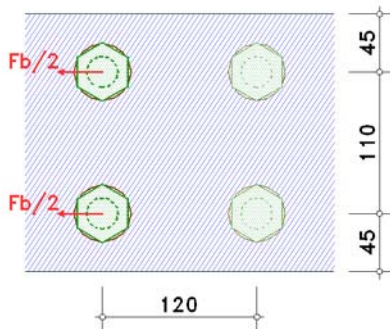
In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.



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):  $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 434.29 \text{ kN}$

### 5.2.3.9. 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  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 361.85 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 1.92$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 361.85 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 1.92$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 723.69 \text{ kN}$

Blockversagen von Schraubengruppen

Schubversagen in Kombination mit Zugversagen des Blechs

Versagensform 1:

Zug-Schubwiderstand  $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u + \min(A_{gv} \cdot f_y, A_{nv} \cdot f_u) / 3^{1/2}) / \gamma_{M2} = 822.53 \text{ kN}$

Versagensform 2:

Zug-Schubwiderstand  $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u + \min(A_{gv} \cdot f_y, A_{nv} \cdot f_u) / 3^{1/2}) / \gamma_{M2} = 665.73 \text{ kN}$

Versagensform 3:

Zug-Schubwiderstand  $V_{eff,Rd} = (0.5 \cdot A_{nt} \cdot f_u + \min(A_{gv} \cdot f_y, A_{nv} \cdot f_u) / 3^{1/2}) / \gamma_{M2} = 567.73 \text{ kN}$

Versagensform 4:

Zugwiderstand (ohne Schubanteil)  $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 1160.32 \text{ kN}$

Tragfähigkeit aus Blockversagen:  $\min V_{eff,Rd} = 567.7 \text{ kN}$

Gesamt

Lochleibungstragfähigkeit einschl. Blockversagen:  $\min(\Sigma F_{b,Rd}, \min V_{eff,Rd}) = 567.7 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 852.99 \text{ kN}$

Reihe 2

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 564.48 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 564.48 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 1003.52 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 852.99 \text{ kN}$

Reihe 3

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 564.48 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 564.48 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 1003.52 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 852.99 \text{ kN}$

Reihe 4

Stirnblech:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 564.48 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 564.48 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 1003.52 \text{ kN}$

Stützenflansch:

Schraube 1: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Schraube 2: Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_m \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 479.81 \text{ kN}$ ,  $k_m = 1.00$ ,  $\alpha_b = 3.00$

Lochleibungstragfähigkeit für 1x2 Schrauben:  $\Sigma F_{b,Rd} = 852.99 \text{ kN}$

**Lochleibungstragfähigkeiten (4 Reihen)**

$\Sigma F_{b,Rd,1} = 567.73 \text{ kN}$

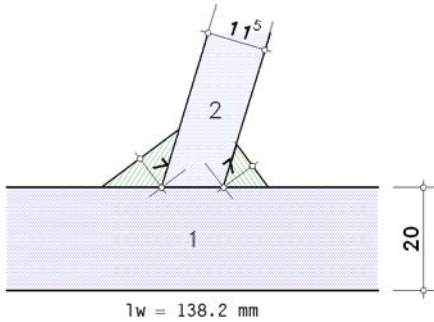
$\Sigma F_{b,Rd,2} = 852.99 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,3} = 852.99 \text{ kN}$

$\Sigma F_{b,Rd,4} = 852.99 \text{ kN}$

### 5.2.3.10. Gk 19: Schweißnaht

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



Berechnung mit dem vereinfachten Verfahren

**Trägerflansch mit Druck**

Tragfähigkeit einer Schweißnaht:  $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 1760.28 \text{ kN/m}$ ,  $f_{vw,d} = 251.5 \text{ N/mm}^2$ ,  $a = 7.0 \text{ mm}$

Gesamt  $F_{w,Rd} = 486.7 \text{ kN}$

### 5.2.3.11. Gk 20: Gevouteter Träger mit Druckbeanspruchung

Flansch unten: Q-Klasse 1

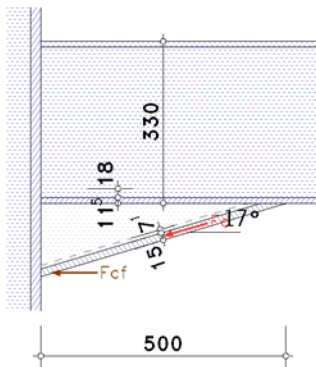
Steg: Q-Klasse 1

Gesamt: Q-Klasse 1

Querschnittsklasse des Trägers in der Anschlussebene: 1

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion  $V_{Ed} = 200.0 \text{ kN}$

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



Voraussetzung: Voutenflansch nicht beulgefährdet:  $1 < 3$  **ok**

**Anschluss Voute-Stütze:** (Grundkomponente 7: Trägerflansch und -steg mit Druck)

Höhe des Trägers einschließlich Voute  $h = h_b + h_v = 480.0 \text{ mm}$

Tragfähigkeit nur des Flanschs (ohne Steg, plastisch: Q-Klasse 1)

Flanschbreite der Voute  $b_{f,v} = 160.0 \text{ mm} < \max b_{f,v} = 535.1 \text{ mm}$  **ok**

Tragfähigkeit  $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 413.04 \text{ kNm}$ ,  $W_{pl} = 1163.51 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs und Stegs mit Druck

$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 889.52 \text{ kN}$

bezogen auf den Voutenflansch  $F_{c,f,Rd} / \cos(\alpha_v) = 928.69 \text{ kN}$

**Gesamttragfähigkeit** eines gevouteten Trägers mit Druckbeanspruchung

$F_{c,v,Rd} = F_{c,f,Rd} = 928.69 \text{ kN}$

Tragfähigkeit bezogen auf die Anschlussebene  $F_{c,v,Rd} \cdot \cos(\alpha_v) = 889.52 \text{ kN}$

**Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs (Gk 7):**

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft:  $V_{Ed} = 200.0 \text{ kN} \leq 351.3 \text{ kN} = 0.5 \cdot V_{pl,Rd} / 2 \Rightarrow$  kein Einfluss

Tragfähigkeit  $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 444.99 \text{ kNm}$ ,  $W_{pl} = 1253.49 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs und Stegs mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 949.80 \text{ kN}$$

#### 5.2.4. Anschluss Tragfähigkeit

Übertragungsparameter:  $\beta_j = 0.58$

##### 5.2.4.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt:

$$h_1 = 522.2 \text{ mm}, h_2 = 402.2 \text{ mm}, h_3 = 222.2 \text{ mm}, h_4 = 82.2 \text{ mm}$$

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

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 352.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 429.0 \text{ kN}$

Reihe 4:  $F_{tr,Rd} = 429.0 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

##### Gruppe 1

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 405.6 \text{ kN}$

##### Gruppe 2

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 405.6 \text{ kN}$

Reihe 4:  $F_{tr,Rd} = 378.1 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

##### Gruppe 1

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 405.6 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 352.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 405.6 \text{ kN}$

Reihe 4:  $F_{tr,Rd} = 378.1 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 1565.6 \text{ kN}$$

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

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 20

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 352.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 107.7 \text{ kN}$

Reihe 4:  $F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 352.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 107.7 \text{ kN}$

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 352.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 429.1 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 107.7 \text{ kN}$

Reihe 4:  $F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{tr,Rd} = 889.5 \text{ kN}$$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 4, 5, 20

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$$\Sigma F_{c,Rd}^* = 1839.3 \text{ kN}$$

Biegetragfähigkeit

$$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 380.7 \text{ kNm}$$

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 1565.6 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 1839.3 \text{ kN}$$

### 5.2.4.2. Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

#### Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

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

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

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

Reihe 4:  $F_{v,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1:  $F_{v,Rd} = 218.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{v,Rd} = 172.0 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{v,Rd} = 368.5 \text{ kN}$

Reihe 4:  $F_{v,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

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

Reihe 1:  $F_{v,Rd} = 218.7 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{v,Rd} = 172.0 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{v,Rd} = 368.5 \text{ kN}$

Reihe 4:  $F_{v,Rd} = 434.3 \text{ kN}$

$\Sigma F_{v,Rd} = 1193.6 \text{ kN}$

#### Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$V_{j,Rd} = \Sigma F_{v,Rd} = 1193.6 \text{ kN}$

### 5.2.4.3. Schubtragfähigkeit

#### Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

Stirnblech:  $V_{ep,Rd} = 1708.73 \text{ kN}$

Schweißnähte:  $F_{w,Rd} = 1048.24 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit:  $V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 1048.24 \text{ kN}$

#### Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

$V_{wp,Rd} = 664.36 \text{ kN}$

### 5.2.4.4. Gesamt

$M_{j,Rd} = 380.7 \text{ kNm}$   $N_{j,t,Rd} = 1565.6 \text{ kN}$   $N_{j,c,Rd} = 1839.3 \text{ kN}$   $V_{j,Rd} = 1193.6 \text{ kN}$   $V_{wp,Rd} = 664.4 \text{ kN}$   $V_{ep,Rd} = 1048.2 \text{ kN}$

### 5.2.5. Nachweise

#### 5.2.5.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Biegemoment:  $M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu} = 81.88 \text{ kNm}$ ,  $z_{bu} = 211.4 \text{ mm}$

Querkraft:  $V_{Ed} = |V_d| = 197.88 \text{ kN}$

Schubkraft:  $V_{b,w,Ed} = 156.47 \text{ kN}$

$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.215 < 1$  ok

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit bei nur 21.5%-iger Ausnutzung der Biegetragfähigkeit  $V_{j,Rd} = 1620.3 \text{ kN}$

$V_{Ed}/V_{j,Rd} = 0.122 < 1$  ok

$V_{b,w,Ed}/V_{ep,Rd} = 0.149 < 1$  ok

#### 5.2.5.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

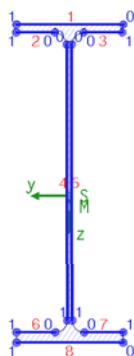
Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig

Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

#### Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:  $a_w = 7.0 \text{ mm}$   $l_w = 160.0 \text{ mm}$

Naht 2:  $a_w = 7.0 \text{ mm}$   $l_w = 58.3 \text{ mm}$

Naht 3: siehe Naht 2

Naht 4:  $a_w = 5.0 \text{ mm}$   $l_w = 416.8 \text{ mm}$

Naht 5: siehe Naht 4

Naht 6:  $a_w = 7.0 \text{ mm}$   $l_w = 58.3 \text{ mm}$

Naht 7: siehe Naht 6

Naht 8:  $a_w = 7.0 \text{ mm}$   $l_w = 160.0 \text{ mm}$

#### Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$N_{Ed} = 29.04 \text{ kN}$ ,  $M_{y,Ed} = -75.74 \text{ kNm}$ ,  $V_{z,Ed} = 197.88 \text{ kN}$



### Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$$\Sigma A_w = 80.39 \text{ cm}^2, A_{w,z} = 41.68 \text{ cm}^2, \Sigma l_w = 138.7 \text{ cm}$$

$$I_{w,y} = 27301.20 \text{ cm}^4, I_{w,z} = 951.99 \text{ cm}^4, \Delta z_w = -19.3 \text{ mm}$$

### Schnittgrößenverteilung:

Naht 1:  $N_w = 78.16 \text{ kN}$

Naht 2:  $N_w = 27.15 \text{ kN}$

Naht 3: siehe Naht 2

Naht 4:  $N_w = 7.86 \text{ kN}$        $M_{y,w} = -8.37 \text{ kNm}$

Naht 5: siehe Naht 4

Naht 6:  $N_w = -24.08 \text{ kN}$

Naht 7: siehe Naht 6

Naht 8:  $N_w = -71.00 \text{ kN}$

aus konventioneller Querkraftaufteilung:  $V_{z,w} = 197.88 \text{ kN}$

### Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

Naht 1, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = 69.78 \text{ N/mm}^2$        $\Rightarrow U_w = 0.277 < 1$  **ok**

Naht 2, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = 66.59 \text{ N/mm}^2$        $\Rightarrow U_w = 0.265 < 1$  **ok**

Naht 4, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = 61.60 \text{ N/mm}^2$        $\tau_{w,z} = 47.47 \text{ N/mm}^2$        $\Rightarrow U_w = 0.309 < 1$  **ok**

Pkt. 1:  $\sigma_{w,x} = -54.05 \text{ N/mm}^2$        $\tau_{w,z} = 47.47 \text{ N/mm}^2$        $\Rightarrow U_w = 0.286 < 1$  **ok**

Naht 6, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = -59.04 \text{ N/mm}^2$        $\Rightarrow U_w = 0.235 < 1$  **ok**

Naht 8, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = -63.39 \text{ N/mm}^2$        $\Rightarrow U_w = 0.252 < 1$  **ok**

### Ergebnis:

Naht 4, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = 61.60 \text{ N/mm}^2$        $\tau_{w,z} = 47.47 \text{ N/mm}^2$

Max:  $F_{w,Ed} = 388.83 \text{ kN/m} < F_{w,Rd} = 1257.34 \text{ kN/m} \Rightarrow U_w = 0.309 < 1$  **ok**

### Nachweis der Umlenkkräfte (Gk 19, vereinfachtes Verfahren)

Druckflansch:  $F_{Rd} = F_{w,Rd} = 486.7 \text{ kN}$ ,  $F_{Ed} = 144.10 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 144.1 \text{ kN} < F_{Rd} = 486.7 \text{ kN} \Rightarrow U_{w,f} = 0.296 < 1$  **ok**

### 5.2.5.3. Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung:  $\max U = 0.309 < 1$  **ok**

### 5.2.6. Rotationssteifigkeit

#### Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 4 Zug-Schraubenreihen:

1:  $k_3 = 8.90 \text{ mm}$ ,  $k_4 = 25.21 \text{ mm}$ ,  $k_5 = 9.66 \text{ mm} \Rightarrow k_{\text{eff},1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 3.914 \text{ mm}$

2:  $k_3 = 8.90 \text{ mm}$ ,  $k_4 = 25.21 \text{ mm}$ ,  $k_5 = 19.18 \text{ mm} \Rightarrow k_{\text{eff},2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 4.899 \text{ mm}$

3:  $k_3 = 8.90 \text{ mm}$ ,  $k_4 = 25.21 \text{ mm}$ ,  $k_5 = 18.21 \text{ mm} \Rightarrow k_{\text{eff},3} = 1 / \Sigma(1/k_{i,3}) = 4.833 \text{ mm}$

4:  $k_3 = 8.90 \text{ mm}$ ,  $k_4 = 25.21 \text{ mm}$ ,  $k_5 = 18.61 \text{ mm} \Rightarrow k_{\text{eff},4} = 1 / \Sigma(1/k_{i,4}) = 4.861 \text{ mm}$

äquivalenter innerer Hebelarm  $z_{\text{eq}} = \Sigma(k_{\text{eff},r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{\text{eff},r} \cdot h_r) = 388.36 \text{ mm}$

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient  $k_{\text{eq}} = \Sigma(k_{\text{eff},r} \cdot h_r) / z_{\text{eq}} = 14.130 \text{ mm}$

$k_2 = \infty$  (ausgesteift)

#### Rotationssteifigkeit

Anfangsrotationssteifigkeit:  $S_{j,\text{ini}} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 447529.3 \text{ kNm/rad}$ ,  $z = z_{\text{eq}} = 388.4 \text{ mm}$ ,  $\Sigma(1/k_i) = 0.071 \text{ mm}^{-1}$

$|M_{j,Ed}| = 81.88 \text{ kNm} \leq 2/3 M_{j,Rd} = 253.79 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = 1$

Rotationssteifigkeit:  $S_{j,Rd} = S_{j,\text{ini}} / \mu = 447529.3 \text{ kNm/rad}$

Verdrehung:  $\varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.010^\circ$