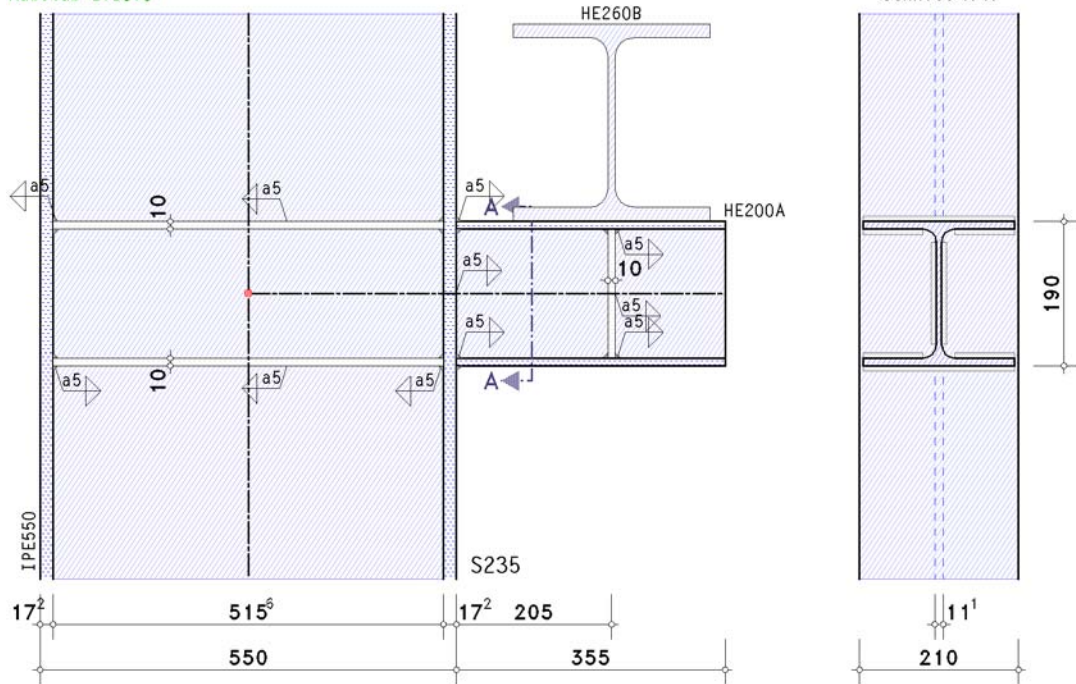
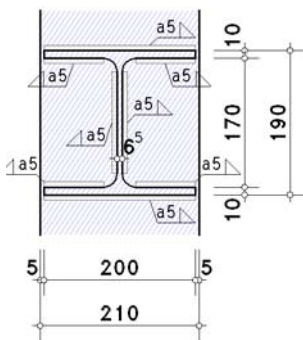


## 1. Eingabeprotokoll

Maßstab 1:10.0



Details (Schnitt A - A)



### Stahlsorte

Stahlgüte S235

### Parameter der Stütze

Profil IPE550

Verstärkung des Profils durch Quersteifen (Stegsteifen in Höhe von Trägerzug- und -druckflansch,  $d_{st} = 180.0$  mm):

Dicke  $t_{st} = 10.0$  mm, Breite  $b_{st} = 99.5$  mm, Länge  $l_{st} = 515.6$  mm

Aussparung an den Steifen  $c_{st} = 36.0$  mm

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

### Parameter des Trägers

Profil HE200A

Verstärkung des Profils durch Quersteifen:

Dicke  $t_{st} = 10.0$  mm, Breite  $b_{st} = 96.8$  mm, Länge  $l_{st} = 170.0$  mm

Aussparung an den Steifen  $c_{st} = 27.0$  mm

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

### Schweißnähte

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke  $a = 5.0$  mm

Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke  $a = 5.0$  mm

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke  $a = 5.0$  mm

### Parameter der Verbindung

geschweißter Anschluss

Abstand der Querbelastung  $\Delta a = 205.0$  mm

Nachweis der Lasteinleitung:

Querbelastung auf dem Obergurt der Konsole aus einem Lastträger (Trägerkreuzung) Profil HE260B

Nachweis der Ermüdung:

Schadensäquivalenzfaktoren  $\lambda_\sigma = 0.315$ ,  $\lambda_\tau = 0.500$

### Ermittlung der Tragfähigkeiten

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

Nachweis der Lasteinleitung, Trägerkreuzung, Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

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

Konsolbelastung und Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen (GZT)

| Lk | F <sub>1,Ed</sub><br>kN |
|----|-------------------------|
| -- | ---                     |
| 1  | 89.00                   |
| 2  | 61.50                   |

F<sub>1,Ed</sub>: Belastung der Konsole

Konsolbelastung (GZE)

| Lk | F <sub>1,Ed</sub><br>kN |
|----|-------------------------|
| -- | ---                     |
| 1  | ---                     |
| 2  | 56.91                   |

F<sub>1,Ed</sub>: Belastung der Konsole

Materialsicherheitsbeiwerte (GZT)

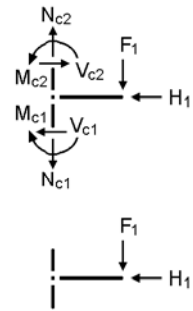
Beanspruchbarkeit von Querschnitten  $\gamma_{M0} = 1.00$

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

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

Materialsicherheitsbeiwert (GZE)

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



## 2. Nachweise

### 2.1. Ergebnistabelle (GZT)

#### 2.1.1. Ausnutzungen

| Lk | U <sub>j</sub> | U <sub>i</sub> | U <sub>j,b</sub> | U <sub>j,σ</sub> | U <sub>j,τ</sub> | U <sub>j,w</sub> | U <sub>j,r</sub> | U <sub>1,σ</sub> | U <sub>1,r</sub> | U      |
|----|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------|
| -- | ---            | ---            | ---              | ---              | ---              | ---              | ---              | ---              | ---              | ---    |
| 1  | 0.586          | 0.375          | 0.586            | 0.236            | 0.285            | 0.370            | 0.290            | 0.375            | 0.253            | 0.586* |
| 2  | 0.405          | 0.259          | 0.405            | 0.163            | 0.197            | 0.256            | 0.201            | 0.259            | 0.175            | 0.405  |

U<sub>j</sub>: res. Ausnutzung aus Träger-Stütze-Anschluss; U<sub>i</sub>: res. Ausnutzung aus Lasteinleitung; U<sub>j,b</sub>: Querschnittsausnutzung Träger

U<sub>j,σ</sub>: Ausnutzung aus Biegung; U<sub>j,τ</sub>: Ausnutzung aus Querkraft; U<sub>j,w</sub>: Ausnutzung aus Schweißnaht

U<sub>j,r</sub>: Ausnutzung aus Steifen/Rippen; U<sub>1,σ</sub>: Ausnutzung aus Spannungen am Steganschnitt; U<sub>1,r</sub>: Ausnutzung aus Rippen

U: Ausnutzung der Verbindung

\*) maximale Ausnutzung

### 2.2. Anschluss an die Stütze (GZT)

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

Datencheck

ok

#### 2.2.1. Ergebnistabelle

##### Ausnutzung

| Lk | U <sub>σ,b</sub> | U <sub>m</sub> | U <sub>wp</sub> | U <sub>cf</sub> | U <sub>sb</sub> | U <sub>ss</sub> | U      |
|----|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| -- | ---              | ---            | ---             | ---             | ---             | ---             | ---    |
| 1  | 0.586            | 0.236          | 0.108           | 0.285           | 0.370           | 0.290           | 0.586* |
| 2  | 0.405            | 0.163          | 0.075           | 0.197           | 0.256           | 0.201           | 0.405  |

U<sub>σ,b</sub>: Spannungsausnutzung am Träger; U<sub>m</sub>: Ausnutzung aus Biegung; U<sub>wp</sub>: Ausnutzung aus Schub im Stützensteg

U<sub>cf</sub>: Ausnutzung aus Schub im Stützenflansch; U<sub>sb</sub>: Ausnutzung aus Schweißnaht; U<sub>ss</sub>: Ausnutzung aus Steifen/Rippen

U: Ausnutzung der Verbindung

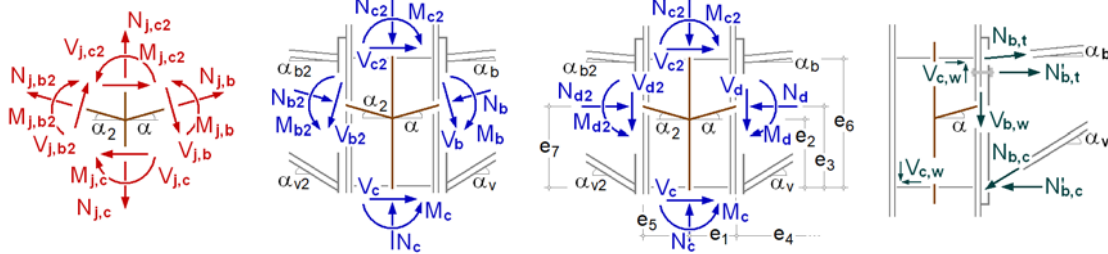
\*) maximale Ausnutzung

#### 2.2.2. Endergebnis

Maximale Ausnutzung [Lk 1]: max U = 0.586 < 1 ok

#### 2.2.3. Lk 1 (maßgebend)

##### 2.2.3.1. Bemessungsgrößen



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

Abstände:  $e_1 = 275.0 \text{ mm}$ ,  $e_3 = 90.0 \text{ mm}$ ,  $e_2 = 90.0 \text{ mm}$ ,  $e_6 = 180.0 \text{ mm}$

### Schnittgrößen senkrecht zu den Anschlussebenen

Anschnitt Träger

$M_d = 18.24 \text{ kNm}$ ,  $V_d = 89.00 \text{ kN}$

### Teilschnittgrößen

$N_{b,t} = -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M_d/z_b = 101.36 \text{ kN}$ ,  $z_b = 180.0 \text{ mm}$ ,  $z_{bu} = 90.0 \text{ mm}$

$N_{b,c} = N_d \cdot z_{bo}/z_b + M_d/z_b = 101.36 \text{ kN}$ ,  $z_b = 180.0 \text{ mm}$ ,  $z_{bo} = 90.0 \text{ mm}$

$V_{b,t} = -N_{b,t} \cdot \sin(\alpha_b) = 0.00 \text{ kN}$ ,  $V_{b,c} = N_{b,c} \cdot \sin(\alpha_v) = 0.00 \text{ kN}$ ,  $V_{b,w} = V_d - V_{b,t} - V_{b,c} = 89.00 \text{ kN}$

### 2.2.3.2. Querschnittstragfähigkeit im Anschnitt

elastischer Spannungsnachweis für  $M_y = -18.24 \text{ kNm}$ ,  $V_z = 89.00 \text{ kN}$

Nachweis:  $\sigma_v = 137.61 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{v,Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_\sigma = 0.586 < 1 \text{ ok}$

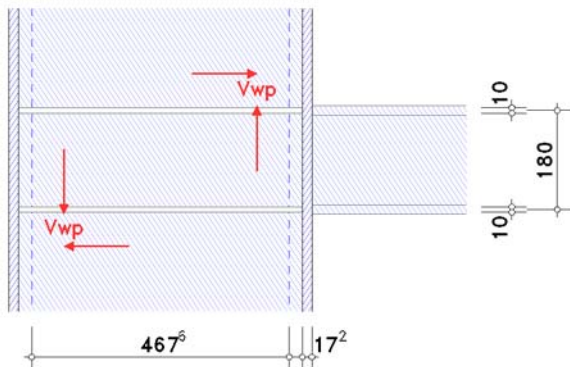
c/t-Verhältnis: einseitig gestützt: Ausnutzung  $U_{c/t} = 0.249 < 1 \text{ ok}$

beidseitig gestützt: Ausnutzung  $U_{c/t} = 0.063 < 1 \text{ ok}$

### 2.2.3.3. Grundkomponenten

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

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9))  $\beta_j = 1.00 \leq 2$  für  $M_{j1} = 42.72 \text{ kNm}$  ( $M_{j2} = 0$ )



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

Schlankheit des Stützenstegs  $d_c/t_{wc} = 42.13 < 69 \cdot \epsilon = 69.00 \Rightarrow$  Verfahren anwendbar

plastische Schubtragfähigkeit ohne Steifen  $V_{wp,Rd} = (0.9 \cdot f_{y,w} \cdot A_v) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 883.4 \text{ kN}$

Anordnung von zwischenliegenden Stegsteifen:

zusätzliche Tragfähigkeit  $V_{wp,add,Rd} = 4 \cdot M_{pl,fc,Rd}/d_{st} = 81.1 \text{ kN}$

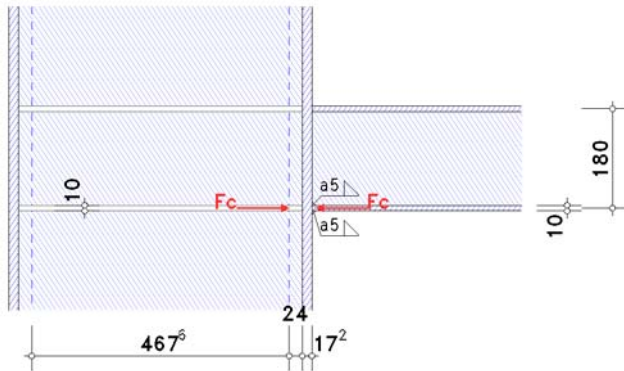
$V_{wp,add,Rd} > 2 \cdot (M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,st,Rd})/d_{st} = 53.5 \text{ kN} \Rightarrow V_{wp,add,Rd} = 53.5 \text{ kN}$

plastische Schubtragfähigkeit mit Quersteifen  $V_{wp,Rd} = 936.9 \text{ kN}$

### 2.2.3.3.2. Gk 2: Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9))  $\beta_j = 1.00 \leq 2$  für  $M_{j1} = 42.72 \text{ kNm}$  ( $M_{j2} = 0$ )

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



Tragfähigkeit ohne Quersteifen:

wirksame Breite des Stützenstegs für Querdruck  $b_{\text{eff},c} = t_{f,b} + 2 \cdot 2^{1/2} \cdot a_b + 5 \cdot (t_{f,c} + s_c) = 230.1 \text{ mm}$

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

Plattenschlankheitsgrad  $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{\text{eff},c} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 0.921$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen  $\rho = (\lambda_p - 0.2) / \lambda_p^2 = 0.850$

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.928$

Tragfähigkeit eines Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{\text{eff},c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 556.88 \text{ kN}$

$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{\text{eff},c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 430.18 \text{ kN}$  (maßgebend)

Verstärkung des Stegs durch Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: Q-Klasse 2  $\leq$  3 **ok**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfelds (Abstand der Steifen)  $a = 180.0 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen  $h_{wc} = 515.6 \text{ mm}$

Trägheitsmoment der Steifen  $I_{st} = 771.75 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für  $a/h_{wc} = 0.35 < 2^{1/2}$ :  $I_{st,min} = 867.87 \text{ cm}^4 > I_{st}$  **nicht ok !!**

$\Rightarrow$  Quersteifen nicht wirksam !

Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:

Tragfähigkeit ohne Quersteifen:

wirksame Breite des Stützenstegs für Querdruck  $b_{\text{eff},c} = t_{f,b} + 2 \cdot 2^{1/2} \cdot a_b + 5 \cdot (t_{f,c} + s_c) = 230.1 \text{ mm}$

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

Plattenschlankheitsgrad  $\lambda_p = 0.932 \cdot [(b_{\text{eff},c} \cdot d_w \cdot f_y) / (E \cdot t_w^2)]^{1/2} = 0.921$

Abminderungsbeiwert für Stegbeulen  $\rho = (\lambda_p - 0.2) / \lambda_p^2 = 0.850$

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung  $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.928$

Tragfähigkeit eines Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot b_{\text{eff},c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M0} = 556.88 \text{ kN}$

$F_{c,w,Rd} = \omega \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{\text{eff},c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 430.18 \text{ kN}$  (maßgebend)

Verstärkung des Stegs durch Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: Q-Klasse 2  $\leq$  3 **ok**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfelds (Abstand der Steifen)  $a = 180.0 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen  $h_{wc} = 515.6 \text{ mm}$

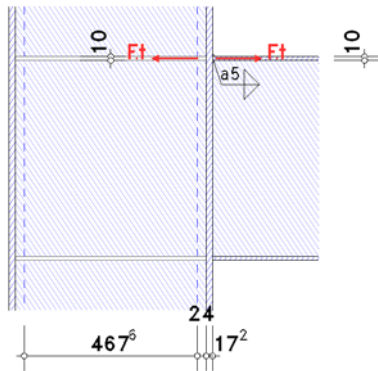
Trägheitsmoment der Steifen  $I_{st} = 771.75 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für  $a/h_{wc} = 0.35 < 2^{1/2}$ :  $I_{st,min} = 867.87 \text{ cm}^4 > I_{st}$  **nicht ok !!**

$\Rightarrow$  Quersteifen nicht wirksam !

### 2.2.3.3.3. Gk 3: Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung

Übertragungsparameter (EC 3-1-8, 5.3(9))  $\beta_j = 1.00 \leq 2$  für  $M_{j1} = 42.72 \text{ kNm}$  ( $M_{j2} = 0$ )



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

Verstärkung des Stegs durch Querstreifen:

Fläche der Streifen einschl. Steg  $A_{st} = (2 \cdot b_{st} + t_{wc}) \cdot t_{st} = 21.00 \text{ cm}^2$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug  $F_{t,wc,Rd} = A_{st} \cdot f_{y,st} / \gamma_{M0} = 493.5 \text{ kN}$

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

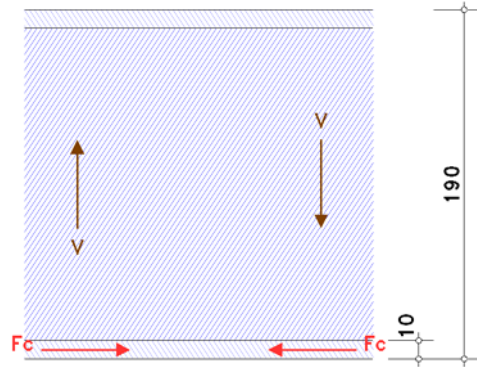
Flansch unten: Q-Klasse 1

Steg: Q-Klasse 1

Gesamt: Q-Klasse 1

Querschnittsklasse des Trägers: 1

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion  $V_{Ed} = 89.0 \text{ kN}$



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

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft:  $V_{Ed} = 89.0 \text{ kN} \leq 122.7 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$  kein Einfluss

Tragfähigkeit  $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 100.92 \text{ kNm}$ ,  $W_{pl} = 429.45 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 560.67 \text{ kN}$$

**Tragfähigkeit des oberen Trägerflanschs:**

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft:  $V_{Ed} = 89.0 \text{ kN} \leq 122.7 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$  kein Einfluss

Tragfähigkeit  $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 100.92 \text{ kNm}$ ,  $W_{pl} = 429.45 \text{ cm}^3$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 560.67 \text{ kN}$$

### 2.2.3.4. Anschlusstragfähigkeit

Übertragungsparameter:  $\beta_j = 1.00$

#### 2.2.3.4.1. Biegetragfähigkeit

Abstand der Zugkraft vom Druckpunkt:  $z = 180.0 \text{ mm}$

**Tragfähigkeit**

$$F_{Rd} = 430.2 \text{ kN}$$

**Tragfähigkeit der Flansche (Druck)**

$$\Sigma F_{c,Rd}^* = 860.4 \text{ kN}$$

**Biegetragfähigkeit**

$$M_{j,Rd} = F_{Rd} \cdot z = 77.4 \text{ kNm}$$

**Zugtragfähigkeit**

$$N_{j,t,Rd} = F_{t,Rd} = 493.5 \text{ kN}$$

**Drucktragfähigkeit**

$$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 860.4 \text{ kN}$$

## 2.2.3.4.2. Schubtragfähigkeit

### Schubtragfähigkeit des Stützenflanschs

$$V_{cf,Rd} = 312.71 \text{ kN}$$

### Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

$$V_{wp,Rd} = 936.9 \text{ kN}$$

## 2.2.3.4.3. Gesamt

$$M_{j,Rd} = 77.4 \text{ kNm} \quad N_{j,t,Rd} = 493.5 \text{ kN} \quad N_{j,c,Rd} = 860.4 \text{ kN} \quad V_{wp,Rd} = 936.9 \text{ kN} \quad V_{cf,Rd} = 312.7 \text{ kN}$$

## 2.2.3.5. Nachweise

### 2.2.3.5.1. Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Biegemoment:  $M_{Ed} = M_d = 18.24 \text{ kNm}$

Querkraft:  $V_{Ed} = |V_d| = 89.00 \text{ kN}$

Schubkraft:  $V_{c,w,Ed} = M_d/z - (V_{c1} - V_{c2})/2 = 101.36 \text{ kN}, \quad z = 180.0 \text{ mm}$

Schubkraft:  $V_{b,w,Ed} = 89.00 \text{ kN}$

$$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.236 < 1 \quad \text{ok}$$

$$V_{c,w,Ed}/V_{wp,Rd} = 0.108 < 1 \quad \text{ok}$$

$$V_{b,w,Ed}/V_{cf,Rd} = 0.285 < 1 \quad \text{ok}$$

### 2.2.3.5.2. Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

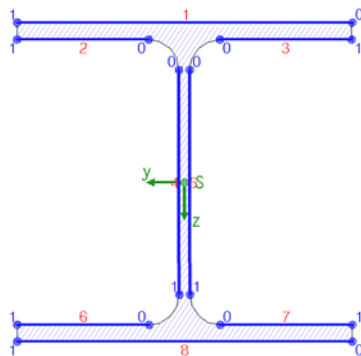
Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 4,5: Trägersteg beidseitig

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Naht 4: Nahtdicke  $a = 5.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 4.5 \text{ mm}$  (Schweisstechnik, s. DIN 18800) !!

Berechnungsquerschnitt:



|         |                        |                          |
|---------|------------------------|--------------------------|
| Naht 1: | $a_w = 5.0 \text{ mm}$ | $l_w = 200.0 \text{ mm}$ |
| Naht 2: | $a_w = 5.0 \text{ mm}$ | $l_w = 78.8 \text{ mm}$  |
| Naht 3: | siehe Naht 2           |                          |
| Naht 4: | $a_w = 5.0 \text{ mm}$ | $l_w = 134.0 \text{ mm}$ |
| Naht 5: | siehe Naht 4           |                          |
| Naht 6: | $a_w = 5.0 \text{ mm}$ | $l_w = 78.8 \text{ mm}$  |
| Naht 7: | siehe Naht 6           |                          |
| Naht 8: | $a_w = 5.0 \text{ mm}$ | $l_w = 200.0 \text{ mm}$ |

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$$M_{y,Ed} = -18.24 \text{ kNm}, \quad V_{z,Ed} = 89.00 \text{ kN}$$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$$\Sigma A_w = 49.15 \text{ cm}^2, \quad A_{w,z} = 13.40 \text{ cm}^2, \quad \Sigma l_w = 98.3 \text{ cm}$$

$$I_{w,y} = 3143.45 \text{ cm}^4, \quad I_{w,z} = 1328.35 \text{ cm}^4, \quad \Delta z_w = 0.0 \text{ mm}$$

Schnittgrößenverteilung:

Naht 1:  $N_w = 55.14 \text{ kN}$

Naht 2:  $N_w = 19.43 \text{ kN}$

Naht 3: siehe Naht 2

Naht 4:  $M_{y,w} = -0.58 \text{ kNm}$

Naht 5: siehe Naht 4

Naht 6:  $N_w = -19.43 \text{ kN}$

Naht 7: siehe Naht 6

Naht 8:  $N_w = -55.14 \text{ kN}$

aus konventioneller Querkraftaufteilung:  $V_{z,w} = 89.00 \text{ kN}$

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

Naht 1, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = 55.14 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.265 < 1 \quad \text{ok}$

Naht 2, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = 49.34 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.237 < 1 \quad \text{ok}$

Naht 4, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = 38.89 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 66.42 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.370 < 1 \quad \text{ok}$

Pkt. 1:  $\sigma_{w,x} = -38.89 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 66.42 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.370 < 1 \quad \text{ok}$

Naht 6, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = -49.34 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.237 < 1 \quad \text{ok}$

Naht 8, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = -55.14 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.265 < 1 \quad \text{ok}$

Ergebnis:

Naht 4, Pkt. 0:  $\sigma_{w,x} = 38.89 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 66.42 \text{ N/mm}^2$

Max:  $F_{w,Ed} = 384.82 \text{ kN/m} < F_{w,Rd} = 1039.23 \text{ kN/m} \Rightarrow U_w = 0.370 < 1 \quad \text{ok}$

### 2.2.3.5.3. Nachweis der Stegsteifen

#### Drucksteife (unten)

$$F_{c,Ed} = 105.61 \text{ kN}$$

#### Kräfte je Rippe

$$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 37.95 \text{ kN}, \quad H = F \cdot e_F / e_H = 4.98 \text{ kN}$$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: Q-Klasse 2  $\leq$  3 **ok**

#### Querschnitt am Flansch

$$\text{Drucktragfähigkeit } N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 149.11 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 38.91 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 38.91 \text{ kN} < F_{Rd} = 149.11 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.261 < 1 \text{ **ok**}$$

#### Querschnitt am Steg

$$\text{Schubtragfähigkeit } V_{Rd} = (A_v \cdot f_y) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 601.86 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = F = 37.95 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 37.95 \text{ kN} < F_{Rd} = 601.86 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.063 < 1 \text{ **ok**}$$

#### Schweißnähte am Flansch

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = 1039.23 \text{ kN/m}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + H^2)^{1/2} / (2 \cdot b_1) = 301.59 \text{ kN/m}, \quad b_1 = 63.4 \text{ mm}$$

$$F_{Ed} = 301.59 \text{ kN/m} < F_{Rd} = 1039.23 \text{ kN/m} \Rightarrow U = 0.290 < 1 \text{ **ok**}$$

#### Schweißnähte am Steg

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = 1039.23 \text{ kN/m}$$

dreiseitiger Rippenanschluss:

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = F / (2 \cdot l_1) = 42.77 \text{ kN/m}, \quad l_1 = 443.6 \text{ mm}$$

$$F_{Ed} = 42.77 \text{ kN/m} < F_{Rd} = 1039.23 \text{ kN/m} \Rightarrow U = 0.041 < 1 \text{ **ok**}$$

#### Zugsteife (oben)

$$F_{t,Ed} = 105.61 \text{ kN}$$

#### Kräfte je Rippe

$$F = 0.5 \cdot F_{t,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 37.95 \text{ kN}, \quad H = F \cdot e_F / e_H = 4.98 \text{ kN}$$

#### Querschnitt am Flansch

$$\text{Zugtragfähigkeit } N_{t,Rd} = 149.11 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 38.91 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 38.91 \text{ kN} < F_{Rd} = 149.11 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.261 < 1 \text{ **ok**}$$

#### Querschnitt am Steg

$$\text{Schubtragfähigkeit } V_{Rd} = (A_v \cdot f_y) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 601.86 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = F = 37.95 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 37.95 \text{ kN} < F_{Rd} = 601.86 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.063 < 1 \text{ **ok**}$$

#### Schweißnähte am Flansch

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = 1039.23 \text{ kN/m}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + H^2)^{1/2} / (2 \cdot b_1) = 301.59 \text{ kN/m}, \quad b_1 = 63.4 \text{ mm}$$

$$F_{Ed} = 301.59 \text{ kN/m} < F_{Rd} = 1039.23 \text{ kN/m} \Rightarrow U = 0.290 < 1 \text{ **ok**}$$

#### Schweißnähte am Steg

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = 1039.23 \text{ kN/m}$$

dreiseitiger Rippenanschluss:

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = F / (2 \cdot l_1) = 42.77 \text{ kN/m}, \quad l_1 = 443.6 \text{ mm}$$

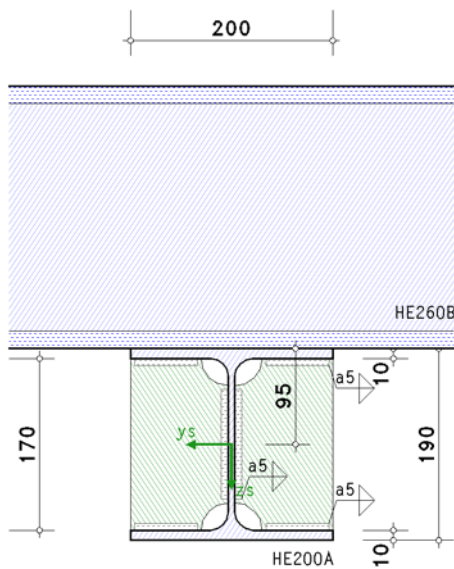
$$F_{Ed} = 42.77 \text{ kN/m} < F_{Rd} = 1039.23 \text{ kN/m} \Rightarrow U = 0.041 < 1 \text{ **ok**}$$

### 2.2.3.5.4. Nachweisergebnis

$$\text{Maximale Ausnutzung: } \max U = 0.586 < 1 \text{ **ok**}$$

### 2.3. Lasteinleitung in die Konsole (GZT)

Sonderprobleme nach Eurocode 3 EC 3-1-5 (10.19), NA: Deutschland



Voraussetzung: Flanschinduziertes Stegbeulen ist ausgeschlossen.  
 Voraussetzung: Platten-/Schubbeulen ist ausgeschlossen.  
 Voraussetzung: Quersteifen dienen als starre Lagerung des Blechfelds.  
 Voraussetzung: Lokales Beulen der Steifen ist ausgeschlossen.

### 2.3.1. Ergebnistabelle

| Lk | $F_{Z,Ed}$<br>kN | $V_{Ed}$<br>kN | $U_r$ | $U_\sigma$ | $U$    |
|----|------------------|----------------|-------|------------|--------|
| 1  | 89.00            | 89.00          | 0.253 | 0.375      | 0.375* |
| 2  | 61.50            | 61.50          | 0.175 | 0.259      | 0.259  |

$F_{Z,Ed}$ : vertikale Einzellast aus einem Lastträger;  $V_{Ed}$ : Bemessungsgrößen im Querschnitt;  $U_r$ : Ausnutzung aus Rippen  
 $U_\sigma$ : Ausnutzung aus Spannungen am Steganschnitt;  $U$ : Ausnutzung aus Lasteinleitung

\*) maximale Ausnutzung

### 2.3.2. Endergebnis

Maximale Ausnutzung [Lk 1]:  $\max U = 0.375 < 1$  ok

### 2.3.3. Lk 1 (maßgebend)

Querschnittswerte:  $A = 53.83 \text{ cm}^2$ ,  $z_s = 95.0 \text{ mm}$ ,  $I_y = 3692.20 \text{ cm}^4$ ,  $y_s = 0.0 \text{ mm}$ ,  $I_z = 1335.51 \text{ cm}^4$

Lasteinzugsbreite durch den Träger  $s_s' = 2 \cdot t_f + t_w + 1.172 \cdot r = 47.6 \text{ mm}$

Lasteinzugslänge durch den Lastträger  $s_s = 2 \cdot t_f + t_w + 1.172 \cdot r = 73.1 \text{ mm}$

Zur Info: Lagerpressung  $F_{Z,Ed,GZT}/(s_s \cdot s_s') = 25.58 \text{ N/mm}^2$

wirksame Lasteinleitungslänge  $l_{eff} = s_s + 2 \cdot t_f = 93.1 \text{ mm}$

Länge der starren Lasteinleitung:

bezogen auf die Flanschaußenkante  $s_s = l_{eff} - 2 \cdot t_f = 73.1 \text{ mm}$  / auf den Steganschnitt  $s_w = l_{eff} + 2 \cdot r = 129.1 \text{ mm}$

#### 2.3.3.1. Stegpressung (GZT)

zulässige Spannungen:  $\sigma_{Rd} = f_y / \gamma_{M0} = 235.0 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau_{Rd} = f_y / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 135.7 \text{ N/mm}^2$

Lastübertragung durch Quersteifen (Rippen):

Kräfte je Rippe

$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 35.04 \text{ kN}$ ,  $H = F \cdot e_F / e_H = 12.75 \text{ kN}$

Steglastanteil  $F_{c,Ed} - 2 \cdot F = 18.91 \text{ kN}$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: Q-Klasse  $2 \leq 3$  ok

Hinweis:  $b_R > 91.8 \text{ mm} \Rightarrow$  Umschweißung nicht möglich, auf Korrosionsschutz achten !!

Querschnitt am Flansch

Drucktragfähigkeit  $N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 163.91 \text{ kN}$

Bemessungsgröße:  $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 41.43 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 41.43 \text{ kN} < F_{Rd} = 163.91 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.253 < 1$  ok

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit  $V_{Rd} = (A_v \cdot f_y) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 157.39 \text{ kN}$

Bemessungsgröße:  $F_{Ed} = F = 35.04 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 35.04 \text{ kN} < F_{Rd} = 157.39 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.223 < 1$  ok

Schweißnähte am Flansch

Bemessungsgrößen:  $F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 251.21 \text{ kN/m}$ ,  $F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 91.43 \text{ kN/m}$ ,  $b_1 = 69.8 \text{ mm}$

$\sigma_{1,w,Ed} = 59.39 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.165 < 1$  ok

$\sigma_{2,w,Ed} = 50.24 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.20 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.194 < 1$  ok

Schweißnähte am Steg

Bemessungsgröße:  $F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 151.05 \text{ kN/m}$ ,  $l_1 = 116.0 \text{ mm}$   
 Nahtdicke  $a = 5.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 4.5 \text{ mm}$  (Schweisstechnik, s. DIN 18800) !!  
 $\sigma_{1,w,Ed} = 52.33 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.145 < 1$  ok  
 Gesamt: Ausnutzung der Rippen  $U_R = 0.253 < 1$  ok

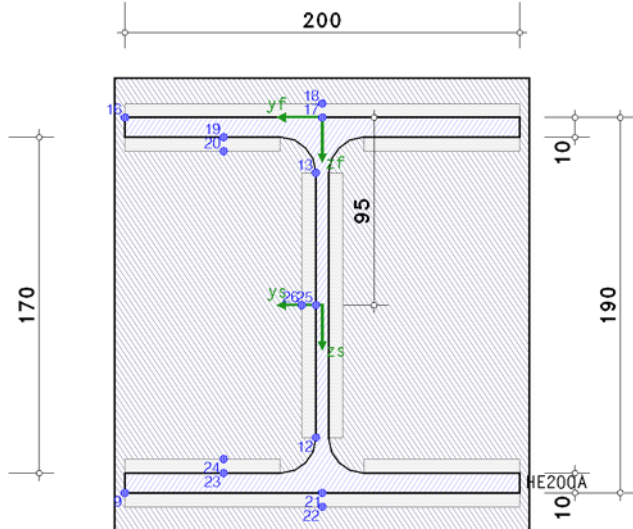
Einzellastpressung am Steganschnitt:  
 reduzierte Querbelastung  $F_{z,Ed} = 18.9 \text{ kN}$   
 lokale Spannungen  $\sigma_{\sigma z,Ed} = -22.5 \text{ N/mm}^2$   
 $|\sigma_{\sigma z,Ed}| = 22.5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.096 < 1$  ok

Spannungen am Steganschnitt:  
 reduzierte Querbelastung  $F_{z,Ed} = 18.9 \text{ kN}$   
 Lk 1:  $V_{z,Ed} = 89.0 \text{ kN}$   
 Spannungen  $\tau_{xz,Ed} = 49.2 \text{ N/mm}^2$   
 $|\tau_{xz,Ed}| = 49.2 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.363 < 1$  ok  
 $\sigma_v = 88.2 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.375 < 1$  ok  
 Ausnutzung am Steganschnitt  $\max U_\sigma = 0.375 < 1$  ok

Maximale Ausnutzung:  $\max U = 0.375 < 1$  ok

## 2.4. Ermüdung der Verbindung Konsole-Stütze (GZE)

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



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

| Pkt  | $y_f$<br>mm | $z_f$<br>mm | $\Delta\sigma_{x,Rd}$<br>N/mm <sup>2</sup> | $\Delta\tau_{Rd}$<br>N/mm <sup>2</sup> | $\Delta\sigma_{z,Rd}$<br>N/mm <sup>2</sup> | Kerbpunkt            | EC 3-1-9, Tab.        |
|------|-------------|-------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| 9    | 100.0       | 190.0       | 160.0                                      | 0.0                                    | 0.0                                        | am Untergurt         | 8.1(2)                |
| 12   | 3.2         | 162.0       | 160.0                                      | 100.0                                  | 0.0                                        | am Trägersteg        | 8.1(2) 8.1(6)         |
| 13   | 3.2         | 28.0        | 160.0                                      | 100.0                                  | 160.0                                      | am Trägersteg        | 8.1(2) 8.1(6) 8.10(1) |
| 16   | 100.0       | 0.0         | 160.0                                      | 0.0                                    | 0.0                                        | am Obergurt          | 8.1(2)                |
| ° 17 | 0.0         | 0.0         | 36.0                                       | 0.0                                    | 0.0                                        | am Blech (Obergurt)  | 8.5(3)                |
| 18   | 0.0         | -7.1        | 80.0                                       | 0.0                                    | 0.0                                        | am Blech (Obergurt)  | 8.5(1)                |
| ° 19 | 50.0        | 10.0        | 36.0                                       | 0.0                                    | 0.0                                        | am Blech (Obergurt)  | 8.5(3)                |
| 20   | 50.0        | 17.1        | 80.0                                       | 0.0                                    | 0.0                                        | am Blech (Obergurt)  | 8.5(1)                |
| ° 21 | 0.0         | 190.0       | 36.0                                       | 0.0                                    | 0.0                                        | am Blech (Untergurt) | 8.5(3)                |
| 22   | 0.0         | 197.1       | 80.0                                       | 0.0                                    | 0.0                                        | am Blech (Untergurt) | 8.5(1)                |
| ° 23 | 50.0        | 180.0       | 36.0                                       | 0.0                                    | 0.0                                        | am Blech (Untergurt) | 8.5(3)                |
| 24   | 50.0        | 172.9       | 80.0                                       | 0.0                                    | 0.0                                        | am Blech (Untergurt) | 8.5(1)                |
| ° 25 | 3.2         | 95.0        | 36.0                                       | 80.0                                   | 0.0                                        | am Blech (Steg)      | 8.5(3) 8.5(8)         |
| 26   | 10.3        | 95.0        | 0.0                                        | 100.0                                  | 0.0                                        | am Blech (Steg)      | 8.2(5)                |

°: Nachweis der Schweißnaht

### Belastung

Lk 1:  $M_{y,Ed} = 0.00 \text{ kNm}$ ,  $V_{z,Ed} = 0.00 \text{ kN}$   
 Lk 2:  $M_{y,Ed} = -11.67 \text{ kNm}$ ,  $V_{z,Ed} = 56.91 \text{ kN}$



$$2: \tau_{xz} = 47.2 \text{ N/mm}^2 \quad \Delta\tau_{Ed} = 74.3 \text{ N/mm}^2 \quad \Delta\sigma_{z,Ed} = 67.8 \text{ N/mm}^2$$

Spannungsschwingbreiten infolge Ermüdung:

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

Pkt. 13:  $y_f = 3.2 \text{ mm}$ ,  $z_f = 28.0 \text{ mm}$

$$\Delta\tau_f = 37.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{z,f} = 21.4 \text{ N/mm}^2$$

zul. Kerbspannungen:

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

Pkt. 13:  $y_f = 3.2 \text{ mm}$ ,  $z_f = 28.0 \text{ mm}$

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

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

Nachweis der Kerbspannungen:

Pkt. 13:  $y = 3.2 \text{ mm}$ ,  $z = 28.0 \text{ mm}$

$$\Delta\tau_f = 37.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{Rd,f} = 87.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\tau} = 0.427 \text{ ok}$$

$$\Delta\sigma_{z,f} = 21.4 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{z,Rd,f} = 139.1 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma z} = 0.154 \text{ ok}$$

Ermüdungsnachweis [Pkt. 13]:  $\max U = 0.427 < 1 \text{ ok}$

### 3. Endergebnis

Maximale Ausnutzung:

$$\max U = 0.586 < 1 \text{ ok}$$

Anschluss an die Stütze

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 1993-1-1:2005 + AC:2009, Ausgabe Dezember 2010

EN 1993-1-1/A1, Ergänzungen zur EN 1993-1-1, Ausgabe Juli 2014

EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-1, Ausgabe Dezember 2018

EN 1993-1-8, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -

Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen;

Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009, Ausgabe Dezember 2010

EN 1993-1-8/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-8, Ausgabe Dezember 2010

EN 1993-1-5, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile;

Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019, Ausgabe Oktober 2019

EN 1993-1-5/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-5, Ausgabe Dezember 2010

EN 1993-1-9, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung;

Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2006 + AC:2009, Ausgabe Dezember 2010

EN 1993-1-9/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-9, Ausgabe Dezember 2010