

## POS. 9: 2 SCHRAUBEN (BSP. KOMP. 7 LK)

### Typisierter IM-Anschluss

Momententrägfähiger IM-Anschluss nach EC 3-1-8 (12.10), NA: Deutschland

Die Abmessungen des Trägers, der Schrauben, der Stirnplatte und der Schweißnähte, das Material sowie die Anordnung der Schrauben sind der folgenden Literatur entnommen:

'Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach DIN EN 1993-1-8, Ergänzungsband 2018, Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Ausgabe 2018'

Hierzu sind die laufende Nr. sowie die zugehörigen Parameter protokolliert.

Die Stütze ist unabhängig von der Literatur gewählt, die Stegsteifen sind durchlaufend ausgeführt.

Die MN-Interaktion erfolgt nach Cerfontaine (in Jaspart/Weynand: Design of Joints in Steel Structures).

Träger-Stützenverbindung, Stahlgüte S235, Festigkeitsklasse der Schrauben 10.9

10106: Trägerprofil IPE240, Schraubengröße M16, Anschluss mit 2 Schrauben je Reihe

Stirnplatte:  $t_p = 15$  mm,  $b_p = 130$  mm,  $h_p = 325$  mm,  $e_1 = 40$  mm,  $p_{1,1} = 80$  mm,  $p_{1,2} = 150$  mm  
 $u_1 = 75$  mm,  $w = 80$  mm

Kehlnähte:  $a_r = 5$  mm,  $a_w = 3$  mm

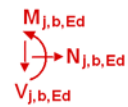
Stütze: Profil HE140A

horizontale Stegsteifen

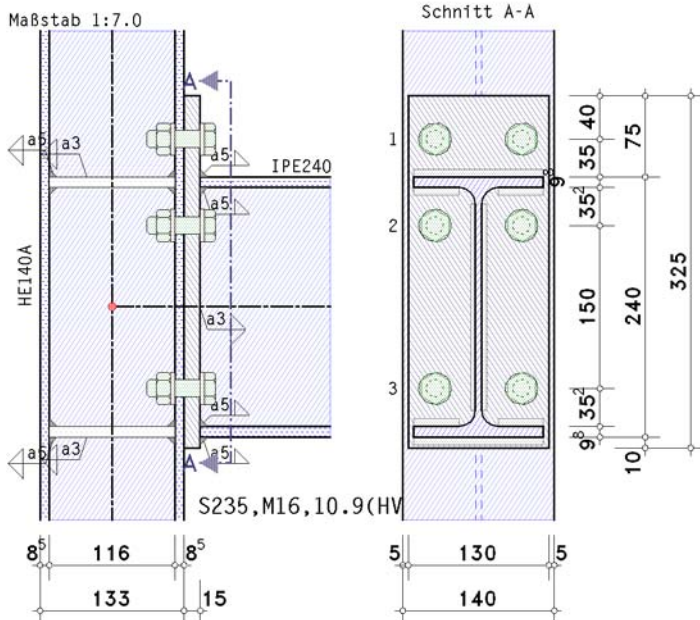
Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen:

$M_{j,b1,Ed}, V_{j,b1,Ed}$ : Schnittgrößen nach der Vorzeichenregel der Statik

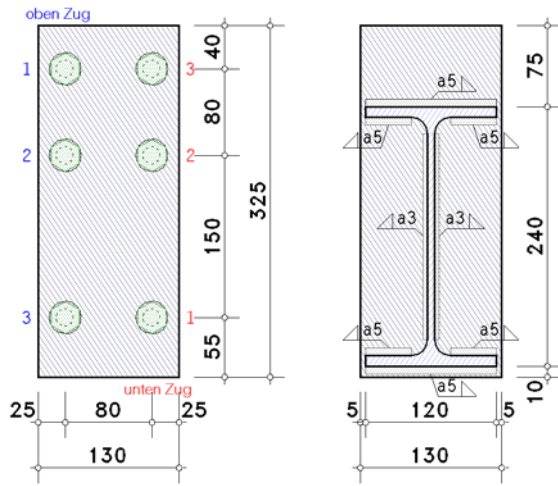
Lk	$M_{j,b1,Ed}$ kNm	$V_{j,b1,Ed}$ kN	Lk	$M_{j,b1,Ed}$ kNm	$V_{j,b1,Ed}$ kN
--	--	--	--	--	--
1	-2.81	-15.82	5	-4.88	-23.13
2	25.58	-51.86	6	7.26	21.11
3	5.10	14.07	7	-5.15	-22.54
4	-3.17	-15.04			



### Biegesteifer Trägeranschluss



## Details



## Komponentenmethode

### Hinweise

Der Nachweis der Verbindung nach EC 3-1-8 erfolgt ohne Berücksichtigung der Vorspannkkräfte. Verbindungen können jedoch mit vorgespannten HV-Schrauben ausgeführt werden. Die Querschnittsprofile werden nicht nachgewiesen. Die Schweißnähte werden bei Ermittlung der T-Stummel-Tragfähigkeit nicht berücksichtigt. Die vereinfachte Berechnung der Querkrafttragfähigkeit berücksichtigt alle Schraubenreihen.

## Endergebnis

**Maximale Ausnutzung [Lk 2]:**  $\max U = 1.028 > 1$  **Fehler !!**  
**Minimale Rotationssteifigkeit [Lk 2]:**  $\min S_j = 2.3 \text{ MNm/rad}$ ,  $S_{j,\text{ini}} = 6.4 \text{ MNm/rad}$   
**Maximale Verdrehung [Lk 2]:**  $\max \varphi_{j,\text{Ed}} = 0.616^\circ$

**Tragfähigkeit nicht gewährleistet !!**

## Maßgebendes Lastkollektiv

### Querschnittstragfähigkeit

plastischer Querschnittsnachweis für  $N = 21.30 \text{ kN}$ ,  $M_y = -21.35 \text{ kNm}$ ,  $V_z = 51.86 \text{ kN}$   
zul. Normal-/Schubspannung: zul  $\sigma_{\text{Rd}} = 23.50 \text{ kN/cm}^2$ , zul  $\tau_{\text{Rd}} = 13.57 \text{ kN/cm}^2$   
Obergurt: Grenznormalkräfte  $N_{\text{max},\text{O}} = 276.36 \text{ kN}$ ,  $N_{\text{min},\text{O}} = -276.36 \text{ kN}$   
Untergurt: Grenznormalkräfte  $N_{\text{max},\text{U}} = 276.36 \text{ kN}$ ,  $N_{\text{min},\text{U}} = -276.36 \text{ kN}$   
Steg: Querkraft  $V_s = 51.86 \text{ kN}$ , Schubspannung  $\tau_s = 3.63 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U_{\tau,s} = 0.268$   
Grenznormalkräfte  $N_{\text{max},\text{S}} = 323.15 \text{ kN}$ ,  $N_{\text{min},\text{S}} = -323.15 \text{ kN}$   
Hauptbieg.: Normalkraft  $N = 21.30 \text{ kN}$ , Grenznormalkräfte  $N_{\text{max}} = 875.87 \text{ kN}$ ,  $N_{\text{min}} = -875.87 \text{ kN} \Rightarrow U_N = 0.024$   
Moment  $M_y = -21.35 \text{ kNm}$ , Grenzmomente  $M_{y,\text{max}} = 82.13 \text{ kNm}$ ,  $M_{y,\text{min}} = -82.13 \text{ kNm} \Rightarrow U_{M_y} = 0.260$   
Gesamt (ggf. aus Laststeigerung):  $\max U = 0.302 < 1$  **o.k.**  
Ausnutzungen: Tragfähigkeit  $U_\sigma = 0.302 < 1$  **o.k.**, c/t-Verhältnis  $U_{c/t} = 0.154 < 1$  **o.k.**

### Anschlussstragfähigkeit

#### Biegetragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt:  $h_1 = 190.1 \text{ mm}$ ,  $h_2 = 40.1 \text{ mm}$

#### Tragfähigkeit je Schraubenreihe (MNV-Interaktion)

Reihe 1:  $F_{\text{tr},\text{Rd}} = 126.0 \text{ kN}$   
Reihe 2:  $F_{\text{tr},\text{Rd}} = 29.7 \text{ kN}$   
 $\Sigma F_{\text{tr},\text{Rd}} = 155.7 \text{ kN}$

#### Tragfähigkeit der Flansche (MNV-Interaktion)

$F_{\text{c},\text{Rd}} = 133.9 \text{ kN}$

#### Biegetragfähigkeit

$M_{j,\text{Rd}} = \Sigma(F_{\text{tr},\text{Rd}} \cdot h_r) = 25.1 \text{ kNm}$

#### Zugtragfähigkeit

$N_{j,t,\text{Rd}} = \Sigma F_{\text{tr},\text{Rd}} = 155.7 \text{ kN}$

## Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = F_{c,Rd} = 133.9 \text{ kN}$$

## Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$$V_{j,Rd} = 53.1 \text{ kN (MNV-Interaktion)}$$

## Schubtragfähigkeit

### Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

$$\text{Blech: } V_{ep,Rd} = 387.49 \text{ kN}$$

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

$$\text{Schweißnähte: } F_{w,Rd} = 237.44 \text{ kN}$$

$$\text{Schubtragfähigkeit des Stirnblechs: } V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 237.44 \text{ kN}$$

### Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

$$V_{wp,Rd}/\beta = 133.9 \text{ kN}$$

### plastische Schubtragfähigkeit

$$V_{pl,Rd} = 0.5 \cdot A_v \cdot (f_y/3^{1/2}) / \gamma_{M0} = 129.9 \text{ kN (Bedingung, s. 'Typisierte Anschlüsse')}$$

## Gesamt

$$M_{j,Rd} = 25.1 \text{ kNm} \quad N_{j,t,Rd} = 155.7 \text{ kN} \quad N_{j,c,Rd} = 133.9 \text{ kN} \quad V_{j,Rd} = 53.1 \text{ kN} \quad V_{wp,Rd}/\beta = 133.9 \text{ kN} \quad V_{pl,Rd} = 129.9 \text{ kN}$$

$$V_{ep,Rd} = 237.4 \text{ kN}$$

## Nachweise

### Nachweis der Anschlussfähigkeit mit der Komponentenmethode

$$U_{MNV} = 0.977 < 1 \text{ o.k.}$$

$$V_{wp,Ed}/(V_{wp,Rd}/\beta) = 1.028 > 1 \text{ Fehler !!}$$

$$V_{Ed}/V_{pl,Rd} = 0.399 < 1 \text{ o.k.}$$

$$V_{Ed}/V_{ep,Rd} = 0.218 < 1 \text{ o.k.}$$

### Nachweis der Schweißnähte am Trägerprofil

Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen

Nähte 2,3: Trägerflansch mit Zug innen

Naht 4,5: Trägersteg beidseitig

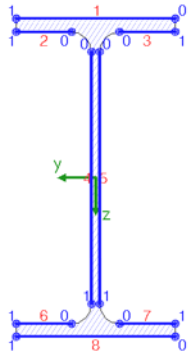
Naht 8: Trägerflansch mit Druck außen

Nähte 6,7: Trägerflansch mit Druck innen

Naht 4: NA-DE: Blechdicke  $t_{max} \geq 3 \text{ mm}$ ; Nahtdicke  $a = 3.0 \text{ mm} < a_{min} = t_{max}^{1/2} - 0.5 = 3.37 \text{ mm} \text{ !!}$

Naht 5: NA-DE: Blechdicke  $t_{max} \geq 3 \text{ mm}$ ; Nahtdicke  $a = 3.0 \text{ mm} < a_{min} = t_{max}^{1/2} - 0.5 = 3.37 \text{ mm} \text{ !!}$

### Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 120.0 \text{ mm}$
Naht 2:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 41.9 \text{ mm}$
Naht 3:	siehe Naht 2	
Naht 4:	$a_w = 3.0 \text{ mm}$	$l_w = 190.4 \text{ mm}$
Naht 5:	siehe Naht 4	
Naht 6:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 41.9 \text{ mm}$
Naht 7:	siehe Naht 6	
Naht 8:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 120.0 \text{ mm}$

### Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$$N_{Ed} = 21.30 \text{ kN}, \quad M_{y,Ed} = -22.13 \text{ kNm}, \quad V_{z,Ed} = 51.86 \text{ kN}$$

### Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$$\Sigma A_w = 31.80 \text{ cm}^2, \quad A_{w,z} = 11.42 \text{ cm}^2, \quad \Sigma l_w = 78.8 \text{ cm}$$

$$I_{w,y} = 3090.79 \text{ cm}^4, \quad I_{w,z} = 285.14 \text{ cm}^4, \quad W_{w,t} = 23.47 \text{ cm}^3, \quad \Delta z_w = 0.0 \text{ mm}$$

### Nachweise in den Endpunkten der Einzelnähte:

$$\text{Naht 1, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = 92.61 \text{ N/mm}^2 \quad \Rightarrow U_w = 0.364 < 1 \text{ o.k.}$$

$$\text{Naht 2, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = 85.59 \text{ N/mm}^2 \quad \Rightarrow U_w = 0.336 < 1 \text{ o.k.}$$

$$\text{Naht 4, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = 74.85 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 45.40 \text{ N/mm}^2 \quad \Rightarrow U_w = 0.366 < 1 \text{ o.k.}$$

$$\text{Pkt. 1: } \sigma_{w,x} = -61.46 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 45.40 \text{ N/mm}^2 \quad \Rightarrow U_w = 0.326 < 1 \text{ o.k.}$$

$$\text{Naht 6, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = -72.20 \text{ N/mm}^2 \quad \Rightarrow U_w = 0.284 < 1 \text{ o.k.}$$

$$\text{Naht 8, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = -79.22 \text{ N/mm}^2 \quad \Rightarrow U_w = 0.311 < 1 \text{ o.k.}$$

### Ergebnis:

$$\text{Naht 4, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = 74.85 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 45.40 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Max: } \sigma_{1,w,Ed} = 13.19 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2,$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = 5.29 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \quad \Rightarrow U_w = 0.366 < 1 \text{ o.k.}$$

### Nachweis der Stegsteifen

### Drucksteife

$$F_{c,Ed} = 128.61 \text{ kN}$$

#### Kräfte je Rippe

$$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 50.8 \text{ kN}, \quad H = F \cdot e_F / e_H = 16.5 \text{ kN}$$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet:  $c/t = 5.8 \cdot \varepsilon \leq 33 \cdot \varepsilon \Rightarrow$  Q-Klasse  $1 \leq 2$  **o.k.**

#### Querschnitt am Flansch

$$\text{Drucktragfähigkeit } N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 90.39 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 58.2 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 58.2 \text{ kN} < F_{Rd} = 90.4 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.644 < 1 \text{ o.k.}$$

#### Querschnitt am Steg

$$\text{Schubtragfähigkeit } V_{Rd} = 154.24 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = F = 50.8 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 50.8 \text{ kN} < F_{Rd} = 154.2 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.329 < 1 \text{ o.k.}$$

#### Schweißnähte am Flansch

$$\text{Bemessungsgrößen: } F_{Ed(\sigma_s)} = F / (2 \cdot b_1) = 6.47 \text{ kN/cm}, \quad F_{Ed(\tau_p)} = H / (2 \cdot b_1) = 2.10 \text{ kN/cm}, \quad b_1 = 39.2 \text{ mm}$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = 14.83 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.412 < 1 \text{ o.k.}$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = 12.93 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.499 < 1 \text{ o.k.}$$

#### Schweißnähte am Steg

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed(\tau_p)} = F / (2 \cdot l_1) = 3.17 \text{ kN/cm}, \quad l_1 = 80.0 \text{ mm}$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = 18.31 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.509 < 1 \text{ o.k.}$$

#### Zugsteife

$$F_{t,Ed} = 149.90 \text{ kN}$$

#### Kräfte je Rippe

$$F = 0.5 \cdot F_{t,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 59.2 \text{ kN}, \quad H = F \cdot e_F / e_H = 19.2 \text{ kN}$$

#### Querschnitt am Flansch

$$\text{Zugtragfähigkeit } N_{t,Rd} = 90.39 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 67.9 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 67.9 \text{ kN} < F_{Rd} = 90.4 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.751 < 1 \text{ o.k.}$$

#### Querschnitt am Steg

$$\text{Schubtragfähigkeit } V_{Rd} = 154.24 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = F = 59.2 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 59.2 \text{ kN} < F_{Rd} = 154.2 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.384 < 1 \text{ o.k.}$$

#### Schweißnähte am Flansch

$$\text{Bemessungsgrößen: } F_{Ed(\sigma_s)} = F / (2 \cdot b_1) = 7.54 \text{ kN/cm}, \quad F_{Ed(\tau_p)} = H / (2 \cdot b_1) = 2.44 \text{ kN/cm}, \quad b_1 = 39.2 \text{ mm}$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = 17.29 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.480 < 1 \text{ o.k.}$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = 15.07 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.581 < 1 \text{ o.k.}$$

#### Schweißnähte am Steg

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed(\tau_p)} = F / (2 \cdot l_1) = 3.70 \text{ kN/cm}, \quad l_1 = 80.0 \text{ mm}$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = 21.35 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.593 < 1 \text{ o.k.}$$

### Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung:  $\max U = 1.028 > 1$  **Fehler !!**

Versagen beim Nachweis Schub im Stützenstegfeld:  $U = 1.028$

### Rotationssteifigkeit

#### Steifigkeitskoeffizienten

$$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 2.35 \text{ mm}$$

$$k_2 = \infty \text{ (ausgesteift)}$$

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 2 Zug-Schraubenreihen:

$$1: k_3 = 6.63 \text{ mm}, \quad k_4 = 4.14 \text{ mm}, \quad k_5 = 13.70 \text{ mm}, \quad k_{10} = 5.84 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \sum(1/k_{i,1}) = 1.572 \text{ mm}$$

$$2: k_3 = 6.63 \text{ mm}, \quad k_4 = 4.14 \text{ mm}, \quad k_5 = 13.70 \text{ mm}, \quad k_{10} = 5.84 \text{ mm} \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \sum(1/k_{i,2}) = 1.572 \text{ mm}$$

$$k_{eq} = \sum(k_{eff,r} \cdot h_r) / z_{eq} = 2.207 \text{ mm}, \quad z_{eq} = \sum(k_{eff,r} \cdot h_r^2) / \sum(k_{eff,r} \cdot h_r) = 164.0 \text{ mm}$$

#### Rotationssteifigkeit

$$\text{Anfangsrotationssteifigkeit: } S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \sum(1/k_i) = 6420.5 \text{ kNm/rad}, \quad z = z_{eq} = 164.0 \text{ mm}, \quad \sum(1/k_i) = 0.879 \text{ mm}^{-1}$$

$$N_{b,Ed} = N_d = 21.30 \text{ kN}$$

$$|N_{b,Ed}| = 21.30 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 45.96 \text{ kN} \text{ o.k.}$$

$$|M_{j,Ed}| = 24.58 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,Rd} = 16.8 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^\Psi = 2.809, \quad \Psi = 2.7$$

$$\text{Rotationssteifigkeit: } S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 2285.7 \text{ kNm/rad}$$

$$\text{Verdrehung: } \varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.616^\circ$$