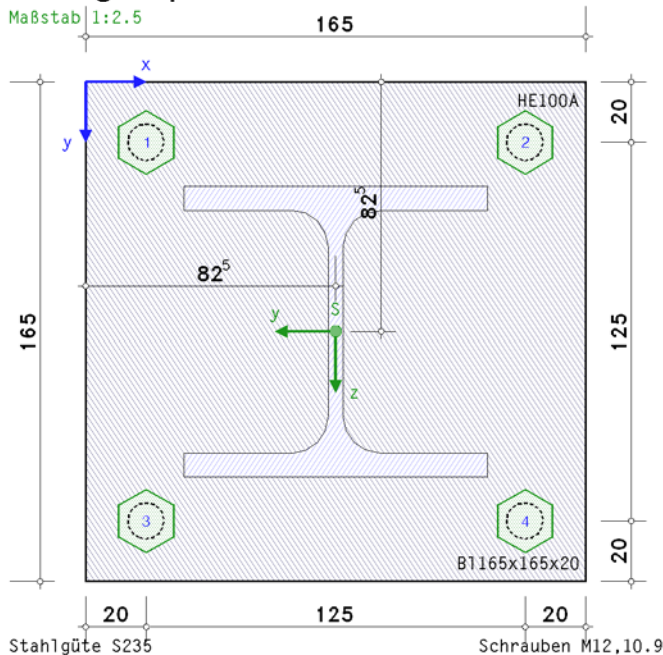


## 1. Eingabeprotokoll



### Stahlsorte

Stahlgüte S235

### Schrauben

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M12, normale Schlüsselweite

Gewinde in der Scherfuge

### Verbindung

Stirnplatte (rechteckig): Dicke  $t_p = 20.0$  mm, Breite  $b_p = 165.0$  mm, Länge  $l_p = 165.0$  mm

Träger: Profil HE100A

Träger-Stirnplatte: umlaufende Kehlnaht, Nahtdicke  $a = 4.0$  mm

Trägerprofil mittig auf der Stirnplatte (Trägerschwerpunkt in Plattenmitte)

Koordinaten des Trägerschwerpunkts auf der Stirnplatte  $x_s = 82.5$  mm,  $y_s = 82.5$  mm

Schrauben:

gleichmäßige Anordnung der Schrauben, 2 vertikale und 2 horizontale Reihen

Randabstände oben, unten  $e_o = e_u = 20.0$  mm, Schraubenabstände  $p_y = 125.0$  mm

Randabstände links, rechts  $e_l = e_r = 20.0$  mm, Schraubenabstände  $p_x = 125.0$  mm

### Nachweis im Brandfall

Temperatur des Trägerprofils:

thermische Beanspruchung mit der Einheitstemperaturkurve, Feuerwiderstandsdauer  $t = 60.0$  min

Abschattung des Profils durch Wand/Decke oben

Wärmedämmschutz durch Plattenbekleidung n. EC 3-1-2, Anhang AA:

Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_p = 0.20$  W/(m·K), spezifische Wärmekapazität  $c_p = 1700$  J/(kg·K), Rohdichte  $\rho_p = 945$  kg/m³

Dicke des Dämmstoffs  $d_p = 20.0$  mm

Brandschutznachweis auf Traglastebene

Temperatur im Anschluss:

vereinfachte Berechnung aus der Temperatur des Trägers, Abminderungsfaktor  $f_{\Theta} = 0.880$

### Berechnung

Nachweisführung:

Schnittgrößenermittlung (FEM) und Tragfähigkeitsnachweise

Nachweis der Stirnplatte mit dem plastischen Verfahren, Kontaktpressungen nachweisen

Nachweis des Trägerquerschnitts mit dem elastischen Verfahren

Nachweis der Schweißnähte mit dem richtungsbezogenen Verfahren

Nachweis der Schrauben, die Abstände werden überprüft

FEM-Berechnung (Brandfall):

Die Schrauben werden plastisch berechnet, Federkonstante der Schrauben  $c_f = 2384.4$  kN/cm

plastische Grenzkraft  $F_{t,f} = f_{t,f} \cdot F_{t,Rd} = 56.3$  kN,  $f_{t,f} = 0.950$ ,  $F_{t,Rd} = 59.3$  kN

wirksame Bruchdehnung  $\epsilon_{t,f} = f_{t,\epsilon} \cdot \epsilon_{ub} = 2.3\%$ ,  $f_{t,\epsilon} = 0.250$ ,  $\epsilon_{ub} = 9.0\%$

ohne Vorspannung ( $F_{p,c} = 0$ )

rechnerischer Bettungsmodul der Stirnplatte  $c_b = 7403.4$  kN/cm³

Anzahl / Größe der finiten Elemente je Richtung  $n_x / \Delta x = 34 / 4.9$  mm,  $n_y / \Delta y = 34 / 4.9$  mm

max. 50 Iterationsschritte bei einer Toleranzgrenze von 5%

**Schnittgrößen** bezogen auf die Querschnittsachsen (Brandfall, außergewöhnliche Bemessungssituation)

| Lk | N <sub>Ed</sub><br>kN | M <sub>y,Ed</sub><br>kNm | V <sub>z,Ed</sub><br>kN |             | Lk | N <sub>Ed</sub><br>kN | M <sub>y,Ed</sub><br>kNm | V <sub>z,Ed</sub><br>kN |             |
|----|-----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|----|-----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|
| 1  | -0.36                 | -5.86                    | 3.57                    | Import Lk 1 | 4  | 0.17                  | -5.86                    | 3.57                    | Import Lk 4 |
| 2  | -0.17                 | -5.80                    | 3.55                    | Import Lk 2 | 5  | 0.09                  | -5.93                    | 3.58                    | Import Lk 5 |
| 3  | 0.09                  | -5.79                    | 3.55                    | Import Lk 3 | 6  | -0.17                 | -5.92                    | 3.58                    | Import Lk 6 |

## Materialsicherheitsbeiwerte

Beanspruchbarkeit von Bauteilen im Brandfall  $\gamma_{M,fi} = 1.00$

Lokale Beanspruchungen insbesondere des Trägers und der Schweißnähte werden nicht berücksichtigt !

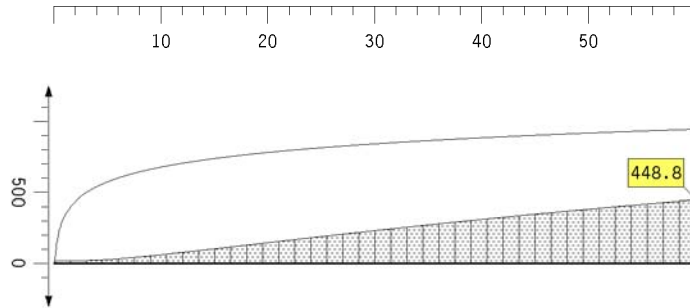
FEM: Der Schraubenabstand vom freien Blechrand ist zu gering (min  $e = 20.0 \text{ mm} < 24.0 \text{ mm}$ ).  
Die Genauigkeit der Ergebnisse kann nicht gewährleistet werden !!

## Temperatur im Anschluss

Querschnittstemperatur:

Profilfaktor des geschützten Bauteils  $A_p/V = 292.0 / 2123.6 \cdot 10^3 = 137.5 \text{ 1/m}$

Temperaturentwicklung:



Temperatur in °C  
Brandzeit in min  
max  $T_a = 448.8^\circ\text{C}$   
max  $t = 60 \text{ min}$

Querschnittstemperatur nach  $t = 60.0 \text{ min}$ :  $T_a = 448.8^\circ\text{C}$

Anschlussstemperatur  $\Theta = 0.880 \cdot 448.8^\circ\text{C} = 394.9^\circ\text{C}$

## Ausnutzungen

In der Ausnutzung der Schrauben aus Zug  $U_{t,s}$  ist die minimale plastische Ausnutzung der Verbindung  $U_{pl}$  sowie die plastische Ausnutzung der Schraubenzugkräfte  $U_{pl,t,s}$  enthalten.

| Lk | $U_p$ | $U_\sigma$ | $U_b$ | $U_{pl,s}$ | $U_{pl,t,s}$ | $U_{wt,s}$ | $U_{t,s}$ | $U_{vt,s}$ | $U_{b,s}$ | $U_q$ | $U_{c/t}$ | $U_w$ | $U$    |
|----|-------|------------|-------|------------|--------------|------------|-----------|------------|-----------|-------|-----------|-------|--------|
| 1  | 0.325 | 0.325      | 0.093 | 0.330      | 0.412        | 0.108      | 0.113     | 0.297      | 0.013     | 0.344 | 0.213     | 0.322 | 0.412  |
| 2  | 0.322 | 0.322      | 0.092 | 0.328      | 0.408        | 0.107      | 0.112     | 0.294      | 0.013     | 0.341 | 0.212     | 0.318 | 0.408  |
| 3  | 0.322 | 0.322      | 0.092 | 0.329      | 0.409        | 0.107      | 0.112     | 0.295      | 0.013     | 0.340 | 0.212     | 0.318 | 0.409  |
| 4  | 0.326 | 0.326      | 0.093 | 0.333      | 0.414        | 0.109      | 0.113     | 0.298      | 0.013     | 0.344 | 0.213     | 0.322 | 0.414  |
| 5  | 0.330 | 0.330      | 0.094 | 0.337      | 0.419        | 0.110      | 0.115     | 0.302      | 0.013     | 0.349 | 0.214     | 0.326 | 0.419* |
| 6  | 0.329 | 0.329      | 0.094 | 0.335      | 0.417        | 0.110      | 0.114     | 0.300      | 0.013     | 0.348 | 0.214     | 0.325 | 0.417  |

$U_p$ : Ausnutzung der Stirnplatte;  $U_\sigma$ : Ausnutzung der Stirnplatte aus Spannung;  $U_b$ : Ausnutzung der Stirnplatte aus Kontaktpressung

$U_{pl,s}$ : minimale plast. Ausnutzung der Verbindung;  $U_{pl,t,s}$ : plast. Ausnutzung der Schraubenzugkräfte;  $U_{wt,s}$ : Ausnutzung der Schrauben aus Dehnung

$U_{t,s}$ : Ausnutzung der Schrauben aus Zug;  $U_{vt,s}$ : Ausnutzung der Schrauben aus Abscheren;  $U_{b,s}$ : Ausnutzung der Schrauben aus Lochleibung

$U_q$ : Spannungsausnutzung des Trägers;  $U_{c/t}$ : c/t-Ausnutzung des Trägers;  $U_w$ : Ausnutzung der Schweißnähte

$U$ : Gesamtausnutzung

\*) maximale Ausnutzung

## 2. Endergebnis

### Maximale Ausnutzung der Stirnplatte aus 6 Lk: max $U_p$ mit Zugehörigen

| Kno | x<br>mm | y<br>mm | $u_z$<br>mm | $b_z$<br>N/mm <sup>2</sup> | $m_{xx}$<br>kNm/m | $m_{yy}$<br>kNm/m | $m_{xy}$<br>kNm/m | $q_x$<br>kN/m | $q_y$<br>kN/m | $U_p$ |
|-----|---------|---------|-------------|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|-------|
| 622 | 82.5    | 126.2   | 0.000       | 4.87                       | 1.73              | 5.56              | -0.00             | -0.05         | 690.76        | 0.330 |

x,y: Knotenkoordinaten;  $u_z$ : Verformungen (abhebend positiv);  $b_z$ : Kontaktpressungen (Druck positiv);  $m_{xx}, m_{yy}, m_{xy}$ : Momente

$q_x, q_y$ : Querkraften;  $q_x, q_y$ : Querkraften;  $U_p$ : Ausnutzung der Stirnplatte

### Maximale Ausnutzung der Schrauben aus 6 Lk: max $U_s$ mit Zugehörigen

|   | x<br>mm | y<br>mm | $F_t$<br>kN | $U_{wt}$ | $U_{vt}$ | $U_b$ | $U_s$ |
|---|---------|---------|-------------|----------|----------|-------|-------|
| 1 | 20.0    | 20.0    | 23.58       | 0.110    | 0.301    | 0.008 | 0.301 |
| 2 | 145.0   | 20.0    | 23.62       | 0.110    | 0.302    | 0.008 | 0.302 |
| 3 | 20.0    | 145.0   | 0.00        | ---      | 0.028    | 0.013 | 0.115 |
| 4 | 145.0   | 145.0   | 0.00        | ---      | 0.028    | 0.013 | 0.115 |

x,y: Schraubenkoordinaten;  $F_t$ : Schraubenkraft;  $U_{wt}$ : Ausnutzung aus Dehnung;  $U_{vt}$ : Ausnutzung aus Abscheren

$U_b$ : Ausnutzung aus Lochleibung;  $U_s$ : Ausnutzung der Schrauben

Maximale Ausnutzung der Stirnplatte [Lk 5]

Maximale Ausnutzung der Schrauben aus Dehnung [Lk 5]

Maximale Ausnutzung der Schrauben [Lk 5]

Maximale Ausnutzung des Trägers [Lk 5]

Maximale Ausnutzung der Schweißnähte [Lk 5]

Maximale Ausnutzung [Lk 5]

max  $U_p = 0.330 < 1$  ok

max  $U_{wt,s} = 0.110 < 1$  ok

max  $U_s = 0.419 < 1$  ok

max  $(U_q, U_{c/t}) = 0.349 < 1$  ok

max  $U_w = 0.326 < 1$  ok

max  $U = 0.419 < 1$  ok

### 3. 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 1993-1-2, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln -

Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1993-1-2, Ausgabe Dezember 2010

EN 1993-1-2/NA, Nationaler Anhang zur EN 1993-1-2, Ausgabe Dezember 2010

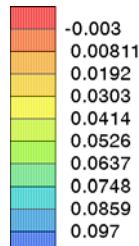
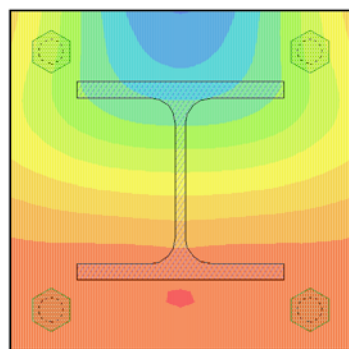
### 4. Lk 5 (maßgebend)

#### 4.1. Stirnplatte

Bemessungsgrößen:  $N = 0.09 \text{ kN}$ ,  $M_y = -5.93 \text{ kNm}$ ,  $M_z = 0.01 \text{ kNm}$

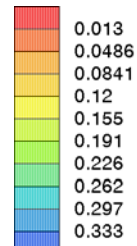
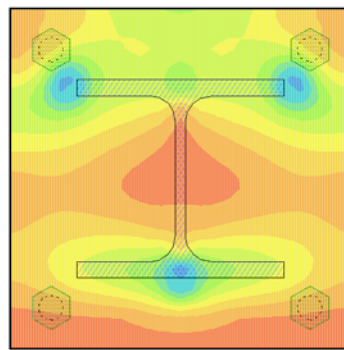
Verformungen  $u_z$  [mm]

min  $u_z = -0.0032 \text{ mm}$ , max  $u_z = 0.0976 \text{ mm}$



Ausnutzung der Stirnplatte  $U_p$

min  $U_p = 0.013$ , max  $U_p = 0.330$



Verformungen abhebend positiv

Ausnutzung der Stirnplatte

| Kno | x<br>mm | y<br>mm | $u_z$<br>mm | $U_p$ |
|-----|---------|---------|-------------|-------|
| 561 | 77.6    | 0.0     | 0.097       | 0.194 |
| 622 | 82.5    | 126.2   | 0.000       | 0.330 |

x,y: Knotenkoordinaten;  $u_z$ : Verformungen (abhebend positiv);  $U_p$ : Ausnutzung der Stirnplatte

Ausnutzung der Schrauben

|   | x<br>mm | y<br>mm | $w_t$<br>mm | $F_t$<br>kN | $\epsilon_{wt}$<br>% | $U_{wt}$ |
|---|---------|---------|-------------|-------------|----------------------|----------|
| 1 | 20.0    | 20.0    | 0.049       | 23.58       | 0.247                | 0.110    |
| 2 | 145.0   | 20.0    | 0.050       | 23.62       | 0.248                | 0.110    |
| 3 | 20.0    | 145.0   | -0.001      | 0.00        | 0.000                | ---      |
| 4 | 145.0   | 145.0   | -0.001      | 0.00        | 0.000                | ---      |

x,y: Schraubenkoordinaten;  $w_t$ : Verformung (Zug positiv);  $F_t$ : Schraubenkraft;  $\epsilon_{wt}$ : Dehnung  
 $U_{wt}$ : Ausnutzung aus Dehnung

Ausnutzung der Stirnplatte [Kno 622]  $U_{max} = 0.330 < 1$  ok

Ausnutzung der Schrauben aus Dehnung [Schraube 2]  $U_{s,max} = 0.110 < 1$  ok

minimale plastische Ausnutzung der Schrauben  $U_{pl,s,min} = 0.337 < 1$  ok

plastische Ausnutzung der Schraubenzugkräfte  $U_{pl,t,s} = 0.419 < 1$  ok

## 4.2. Schrauben

Bemessungsgrößen:  $\min F_t = 0.00 \text{ kN}$ ,  $\max F_t = 23.62 \text{ kN}$ ,  $V_z = 3.58 \text{ kN}$ ,  $V_y = 0.00 \text{ kN}$

### Nachweis der Schrauben

$U_{tp}$  Ausnutzung aus Durchstanzen,  $U_{vt}$  Ausnutzung aus Abscheren mit Zug,  $U_b$  Ausnutzung aus Lochleibung,  $U$  Ausnutzung der Schrauben

|            |                    |                    |                   |                    |
|------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Schraube 1 | $U_{tp,1} = 0.114$ | $U_{vt,1} = 0.301$ | $U_{b,1} = 0.008$ | $U_1 = 0.301$      |
| Schraube 2 | $U_{tp,2} = 0.115$ | $U_{vt,2} = 0.302$ | $U_{b,2} = 0.008$ | $U_2 = 0.302$      |
| Schraube 3 | $U_{tp,3} = 0.000$ | $U_{vt,3} = 0.028$ | $U_{b,3} = 0.013$ | $U_3 = 0.028$      |
| Schraube 4 | $U_{tp,4} = 0.000$ | $U_{vt,4} = 0.028$ | $U_{b,4} = 0.013$ | $U_4 = 0.028$      |
| Gesamt:    | $U_{tp} = 0.115$   | $U_{vt} = 0.302$   | $U_b = 0.013$     | $U = 0.302 < 1$ ok |

In der Ausnutzung der Schrauben  $\max U_s$  ist die minimale plastische Ausnutzung der Schrauben  $\min U_{pl,s} = 0.337$  sowie die plastische Ausnutzung der Schraubenzugkräfte  $U_{pl,t,s} = 0.419$  enthalten.

Ausnutzung der Schrauben  $U_{\max} = 0.419 < 1$  ok

## 4.3. Träger

elastischer Spannungsnachweis für  $N = 0.09 \text{ kN}$ ,  $M_y = -5.93 \text{ kNm}$ ,  $V_z = 3.58 \text{ kN}$

Nachweis:  $\sigma_v = 81.91 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{v,Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_\sigma = 0.349 < 1$  ok

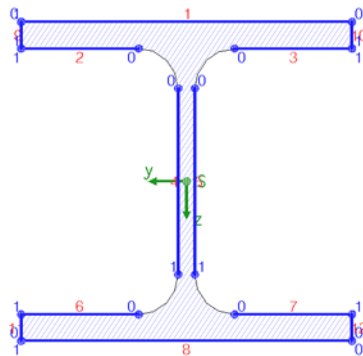
c/t-Nachweis: Ausnutzung  $U_{c/t} = 0.214 < 1$  ok

Ausnutzung des Trägers  $\max(U_\sigma, U_{c/t}) = 0.349 < 1$  ok

## 4.4. Schweißnähte

Bemessungsgrößen:  $N = 0.09 \text{ kN}$ ,  $M_y = -5.93 \text{ kNm}$ ,  $V_z = 3.58 \text{ kN}$ ,  $M_z = 0.01 \text{ kNm}$ ,  $V_y = 0.00 \text{ kN}$

Naht 4: Nahtdicke  $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 3.5 \text{ mm}$  (Schweisstechnik, s. DIN 18800) !!



|          |                        |                          |
|----------|------------------------|--------------------------|
| Naht 1:  | $a_w = 4.0 \text{ mm}$ | $l_w = 100.0 \text{ mm}$ |
| Naht 2:  | $a_w = 4.0 \text{ mm}$ | $l_w = 35.5 \text{ mm}$  |
| Naht 3:  | siehe Naht 2           |                          |
| Naht 4:  | $a_w = 4.0 \text{ mm}$ | $l_w = 56.0 \text{ mm}$  |
| Naht 5:  | siehe Naht 4           |                          |
| Naht 6:  | $a_w = 4.0 \text{ mm}$ | $l_w = 35.5 \text{ mm}$  |
| Naht 7:  | siehe Naht 6           |                          |
| Naht 8:  | $a_w = 4.0 \text{ mm}$ | $l_w = 100.0 \text{ mm}$ |
| Naht 9:  | $a_w = 4.0 \text{ mm}$ | $l_w = 8.0 \text{ mm}$   |
| Naht 10: | siehe Naht 9           |                          |
| Naht 11: | $a_w = 4.0 \text{ mm}$ | $l_w = 8.0 \text{ mm}$   |
| Naht 12: | siehe Naht 11          |                          |

Max:  $\sigma_{1,w,Ed} = 129.28 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 397.04 \text{ N/mm}^2$ ,  
 $\sigma_{2,w,Ed} = 64.64 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 285.87 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.326 < 1$  ok

Ausnutzung der Schweißnähte  $U_{\max} = 0.326 < 1$  ok

## 4.5. Gesamt

Ausnutzung Lk 5  $U_{\max} = 0.419 < 1$  ok