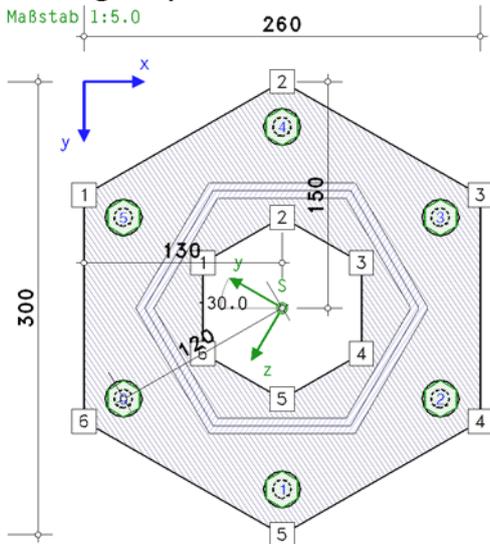


## 1. Eingabeprotokoll



### Stahlsorte

Stahlgüte S235

### Schrauben

Die Schrauben sind mit der Kraft  $F_{p,C} = 53.1$  kN vorzuspannen !!

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M12

große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt (zur Info: Regelvorspannkraft  $F_{p,C}^* = 0.7 \cdot f_{yb} \cdot A_s = 53.1$  kN)

Gewinde in der Scherfuge

### Verbindung

Stirnplatte (polygonal):

Pkt.	$x_p$ mm	$y_p$ mm	Pkt.	$x_p$ mm	$y_p$ mm
1	0.0	75.0	4	260.0	225.0
2	130.0	0.0	5	130.0	300.0
3	260.0	75.0	6	0.0	225.0

Dicke  $t_p = 20.0$  mm

Träger:  $h = 191.5$  mm,  $b = 166.0$  mm,  $A = 54.02$  cm<sup>2</sup>,  $y_s = -83.0$  mm,  $z_s = 95.8$  mm

$I_y = 1830.95$  cm<sup>4</sup>,  $I_z = 1833.11$  cm<sup>4</sup>,  $I_T = 3302.15$  cm<sup>4</sup>

Verdrehung des Querschnitts um den Profilschwerpunkt  $\beta = -30.0^\circ$

Aussparung in der Stirnplatte (polygonal):

Pkt.	$x_{of}$ mm	$y_{of}$ mm	Pkt.	$x_{of}$ mm	$y_{of}$ mm
1	78.0	120.0	4	182.0	180.0
2	130.0	90.0	5	130.0	210.0
3	182.0	120.0	6	78.0	180.0

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

Trägerprofil mittig auf der Stirnplatte (Trägerschwerpunkt in Plattenmitte)

Koordinaten des Trägerschwerpunkts auf der Stirnplatte  $x_s = 130.0$  mm,  $y_s = 150.0$  mm

Schrauben:

kreisförmige Anordnung von 6 Schrauben im Radius  $r = 120.0$  mm um den Trägerschwerpunkt

### Berechnung

Nachweisführung:

Schnittgrößenermittlung (FEM) und Tragfähigkeitsnachweise

Nachweis der Stirnplatte mit dem plastischen Verfahren, Kontaktpressungen nachweisen

Nachweis des Trägerquerschnitts mit dem plastischen Verfahren

Nachweis der Schrauben, die Abstände werden überprüft

FEM-Berechnung:

Die Schrauben werden plastisch berechnet, Federkonstante der Schrauben  $c_f = 3233.4$  kN/cm

plastische Grenzkraft  $F_{t,f} = f_{t,f} \cdot F_{t,Rd} = 57.7$  kN,  $f_{t,f} = 0.950$ ,  $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 60.70$  kN,  $k_2 = 0.90$

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

Vorspannkraft der Schrauben  $F_{p,C} = 53.1$  kN <  $F_{t,f}$  **ok**

rechnerischer Bettungsmodul der Stirnplatte  $c_b = 10500.0$  kN/cm<sup>3</sup>

Anzahl / Größe der finiten Elemente je Richtung  $n_x / \Delta x = 40 / 6.5$  mm,  $n_y / \Delta y = 46 / 6.5$  mm

max. 50 Iterationsschritte bei einer Toleranzgrenze von 5%

**Schnittgrößen** bezogen auf die Querschnittsachsen

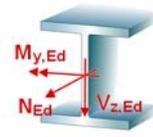
Lk 1:  $N_{Ed} = 260.00 \text{ kN}$

Lk 2:  $N_{Ed} = -1200.00 \text{ kN}$

**Materialsicherheitsbeiwerte**

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

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



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

4H-QUER-Querschnitte sind über ihre Mittellinien beschrieben.

Rand- und Schraubenabstände sind daher separat zu überprüfen !!

**2. Lk 1**

**2.1. Stirnplatte**

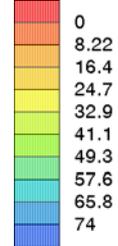
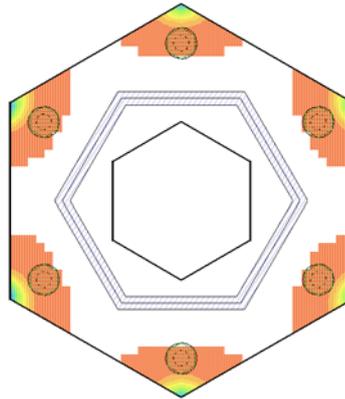
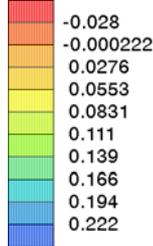
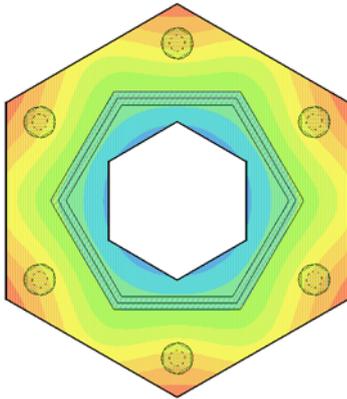
Bemessungsgrößen:  $N = 260.00 \text{ kN}$

**Verformungen  $u_z$  [mm]**

min  $u_z = -0.0284 \text{ mm}$ , max  $u_z = 0.2206 \text{ mm}$

**Kontaktpressungen  $b_z$  [N/mm<sup>2</sup>]**

min  $b_z = 0.00 \text{ N/mm}^2$ , max  $b_z = 73.69 \text{ N/mm}^2$

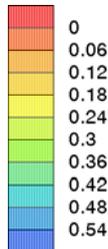
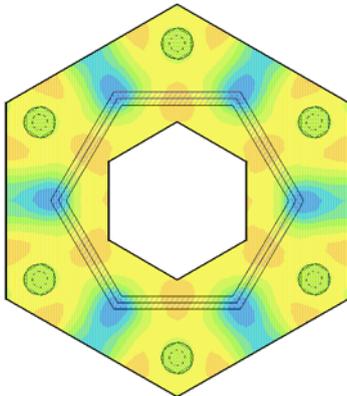


Verformungen abhebend positiv

Kontaktpressungen Druck positiv

**Ausnutzung der Stirnplatte  $U_p$**

min  $U_p = 0.000$ , max  $U_p = 0.540$



**Ausnutzung der Stirnplatte**

Kno	x mm	y mm	$u_z$ mm	$b_z$ N/mm <sup>2</sup>	$m_1$ kNm/m	$m_2$ kNm/m	$U_p$
11	0.0	65.2	-0.028	44.12	1.36	-0.13	0.188
12	0.0	71.7	-0.023	64.36	1.18	0.47	0.274
35	0.0	221.7	-0.017	73.69	1.67	0.98	0.314
647	84.5	228.3	0.144	0.00	12.38	6.80	0.540
817	110.5	110.9	0.221	0.00	3.67	-1.29	0.247
1917	260.0	234.8	-0.028	44.12	1.36	-0.13	0.188

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

**Ausnutzung der Schrauben**

	x mm	y mm	wt mm	$F_t$ kN	$\epsilon_{wt}$ %	$U_{wt}$
1	130.0	270.0	0.043	57.66	0.517	0.230
2	233.9	210.0	0.042	57.66	0.512	0.227
3	233.9	90.0	0.042	57.66	0.510	0.227
4	130.0	30.0	0.043	57.66	0.517	0.230
5	26.1	90.0	0.042	57.66	0.512	0.227



	x mm	y mm	w <sub>t</sub> mm	F <sub>t</sub> kN	ε <sub>w<sub>t</sub></sub> %	U <sub>w<sub>t</sub></sub>
6	26.1	210.0	0.042	57.66	0.510	0.227

x,y: Schraubenkoordinaten; w<sub>t</sub>: Verformung (Zug positiv); F<sub>t</sub>: Schraubenkraft; ε<sub>w<sub>t</sub></sub>: Dehnung  
U<sub>w<sub>t</sub></sub>: Ausnutzung aus Dehnung

**Ausnutzung der Stirnplatte [Kno 647]** U<sub>max</sub> = 0.540 < 1 **ok**

**Ausnutzung der Schrauben aus Dehnung [Schraube 1]** U<sub>s,max</sub> = 0.230 < 1 **ok**

**minimale plastische Ausnutzung der Schrauben** U<sub>pl,s,min</sub> = 0.791 < 1 **ok**

**plastische Ausnutzung der Schraubenzugkräfte** U<sub>pl,t,s</sub> = 0.239 < 1 **ok**

## 2.2. Schrauben

Bemessungsgrößen: min F<sub>t</sub> = 57.66 kN, max F<sub>t</sub> = 57.66 kN

### Nachweis der Schrauben

U<sub>tp</sub> Ausnutzung aus Durchstanzen, U Ausnutzung der Schrauben

Schraube 1	U <sub>tp,1</sub> = 0.231	U <sub>1</sub> = 0.231
Schraube 2	U <sub>tp,2</sub> = 0.231	U <sub>2</sub> = 0.231
Schraube 3	U <sub>tp,3</sub> = 0.231	U <sub>3</sub> = 0.231
Schraube 4	U <sub>tp,4</sub> = 0.231	U <sub>4</sub> = 0.231
Schraube 5	U <sub>tp,5</sub> = 0.231	U <sub>5</sub> = 0.231
Schraube 6	U <sub>tp,6</sub> = 0.231	U <sub>6</sub> = 0.231
Gesamt:	U <sub>tp</sub> = 0.231	U = 0.231 < 1 <b>ok</b>

In der Ausnutzung der Schrauben max U<sub>s</sub> ist die minimale plastische Ausnutzung der Schrauben min U<sub>pl,s</sub> = 0.791 sowie die plastische Ausnutzung der Schraubenzugkräfte U<sub>pl,t,s</sub> = 0.239 enthalten.

**Ausnutzung der Schrauben** U<sub>max</sub> = 0.791 < 1 **ok**

## 2.3. Träger

plastischer Spannungsnachweis für N = 260.00 kN

Schnittgrößen bzgl. yz-Richtung in kN, m: M<sub>y</sub> = 0.00, M<sub>z</sub> = 0.00, V<sub>y</sub> = 0.00, V<sub>z</sub> = 0.00

Teilschnittgrößen der Linien des Querschnitts in kN, m:

- 1: N = 43.34, M<sub>y</sub> = 0.00, M<sub>z</sub> = 0.00, V<sub>y</sub> = 0.00, V<sub>z</sub> = 0.00, T = 0.00
- 2: N = 43.34, M<sub>y</sub> = -0.00, M<sub>z</sub> = 0.00, V<sub>y</sub> = 0.00, V<sub>z</sub> = 0.00, T = 0.00
- 3: N = 43.32, M<sub>y</sub> = -0.00, M<sub>z</sub> = 0.00, V<sub>y</sub> = 0.00, V<sub>z</sub> = 0.00, T = 0.00
- 4: N = 43.34, M<sub>y</sub> = -0.00, M<sub>z</sub> = -0.00, V<sub>y</sub> = 0.00, V<sub>z</sub> = 0.00, T = 0.00
- 5: N = 43.34, M<sub>y</sub> = 0.00, M<sub>z</sub> = -0.00, V<sub>y</sub> = 0.00, V<sub>z</sub> = 0.00, T = 0.00
- 6: N = 43.32, M<sub>y</sub> = 0.00, M<sub>z</sub> = 0.00, V<sub>y</sub> = 0.00, V<sub>z</sub> = 0.00, T = 0.00

Ausnutzungen der Linien des Querschnitts

- 1: U<sub>σ</sub> = 0.205, U<sub>τ</sub> = 0.000, U = 0.205
- 2: U<sub>σ</sub> = 0.205, U<sub>τ</sub> = 0.000, U = 0.205
- 3: U<sub>σ</sub> = 0.205, U<sub>τ</sub> = 0.000, U = 0.205
- 4: U<sub>σ</sub> = 0.205, U<sub>τ</sub> = 0.000, U = 0.205
- 5: U<sub>σ</sub> = 0.205, U<sub>τ</sub> = 0.000, U = 0.205
- 6: U<sub>σ</sub> = 0.205, U<sub>τ</sub> = 0.000, U = 0.205

max. Lastfaktor (plast.): f<sub>pl</sub> = 4.883

Verwölbungsungleichgewicht im Grenzzustand: ΔB = 0.000 kNm<sup>2</sup>

Ausnutzung (ohne Verwölbungsungleichgewicht): U<sub>pl</sub> = 0.205

Nachweis: U<sub>pl</sub> = 0.205 < 1 **ok**

**Ausnutzung des Trägers** max(U<sub>σ</sub>, U<sub>σ/t</sub>) = 0.205 < 1 **ok**

## 2.4. Gesamt

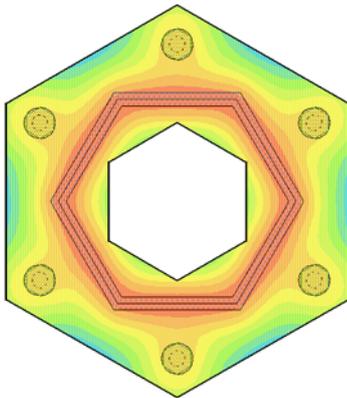
Ausnutzung Lk 1 U<sub>max</sub> = 0.791 < 1 **ok**

## 3. Lk 2

### 3.1. Stirnplatte

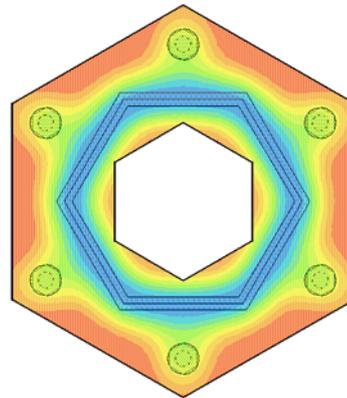
Bemessungsgrößen: N = -1200.00 kN

**Verformungen  $u_z$  [mm]**  
 min  $u_z = -0.0073$  mm, max  $u_z = 0.0064$  mm



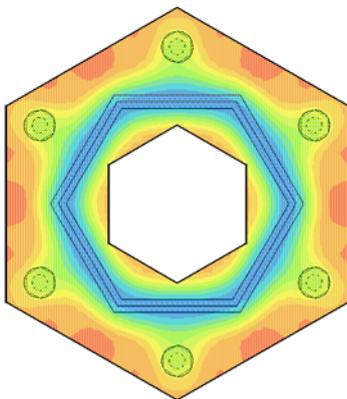
Verformungen abhebend positiv

**Kontaktpressungen  $b_z$  [N/mm<sup>2</sup>]**  
 min  $b_z = 0.00$  N/mm<sup>2</sup>, max  $b_z = 67.09$  N/mm<sup>2</sup>



Kontaktpressungen Druck positiv

**Ausnutzung der Stirnplatte  $U_p$**   
 min  $U_p = 0.000$ , max  $U_p = 0.286$



### Ausnutzung der Stirnplatte

Kno	x mm	y mm	$u_z$ mm	$b_z$ N/mm <sup>2</sup>	$m_1$ kNm/m	$m_2$ kNm/m	$U_p$
11	0.0	65.2	0.001	1.93	0.84	-0.28	0.061
13	0.0	78.3	-0.000	7.50	1.08	0.05	0.056
37	0.0	234.8	0.001	1.94	0.84	-0.28	0.061
336	45.5	39.1	0.006	0.00	0.46	-0.15	0.034
501	65.0	195.7	-0.007	67.09	3.93	1.34	0.286
1427	195.0	104.4	-0.007	67.09	3.93	1.34	0.286

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

### Ausnutzung der Schrauben

	x mm	y mm	$F_t$ kN	$\epsilon_{wt}$ %	$U_{wt}$		x mm	y mm	$F_t$ kN	$\epsilon_{wt}$ %	$U_{wt}$
1	130.0	270.0	53.11	0.300	0.133	4	130.0	30.0	53.11	0.300	0.133
2	233.9	210.0	53.11	0.300	0.133	5	26.1	90.0	53.11	0.300	0.133
3	233.9	90.0	53.11	0.300	0.133	6	26.1	210.0	53.11	0.300	0.133

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

**Ausnutzung der Stirnplatte [Kno 501]  $U_{max} = 0.286 < 1$  ok**

**Ausnutzung der Schrauben aus Dehnung [Schraube 1]  $U_{s,max} = 0.133 < 1$  ok**

### 3.2. Schrauben

Bemessungsgrößen: min  $F_t = 53.11$  kN, max  $F_t = 53.11$  kN

#### Nachweis der Schrauben

$U_{tp}$  Ausnutzung aus Durchstanzen,  $U$  Ausnutzung der Schrauben

Schraube 1	$U_{tp,1} = 0.213$	$U_1 = 0.213$
Schraube 2	$U_{tp,2} = 0.213$	$U_2 = 0.213$
Schraube 3	$U_{tp,3} = 0.213$	$U_3 = 0.213$
Schraube 4	$U_{tp,4} = 0.213$	$U_4 = 0.213$
Schraube 5	$U_{tp,5} = 0.213$	$U_5 = 0.213$
Schraube 6	$U_{tp,6} = 0.213$	$U_6 = 0.213$
Gesamt:	$U_{tp} = 0.213$	$U = 0.213 < 1$ ok

Ausnutzung der Schrauben  $U_{\max} = 0.213 < 1$  ok

### 3.3. Träger

plastischer Spannungsnachweis für  $N = -1200.00$  kN

Schnittgrößen bzgl. yz-Richtung in kN, m:  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = 0.00$ ,  $V_y = 0.00$ ,  $V_z = 0.00$

Teilschnittgrößen der Linien des Querschnitts in kN, m:

- 1:  $N = -200.04$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = 0.00$ ,  $V_y = 0.00$ ,  $V_z = 0.00$ ,  $T = 0.00$
- 2:  $N = -200.04$ ,  $M_y = -0.00$ ,  $M_z = 0.00$ ,  $V_y = 0.00$ ,  $V_z = 0.00$ ,  $T = 0.00$
- 3:  $N = -199.93$ ,  $M_y = -0.00$ ,  $M_z = 0.00$ ,  $V_y = 0.00$ ,  $V_z = 0.00$ ,  $T = 0.00$
- 4:  $N = -200.04$ ,  $M_y = -0.00$ ,  $M_z = -0.00$ ,  $V_y = 0.00$ ,  $V_z = 0.00$ ,  $T = 0.00$
- 5:  $N = -200.04$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = -0.00$ ,  $V_y = 0.00$ ,  $V_z = 0.00$ ,  $T = 0.00$
- 6:  $N = -199.93$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = 0.00$ ,  $V_y = 0.00$ ,  $V_z = 0.00$ ,  $T = 0.00$

Ausnutzungen der Linien des Querschnitts

- 1:  $U_{\sigma} = 0.945$ ,  $U_{\tau} = 0.000$ ,  $U = 0.945$
- 2:  $U_{\sigma} = 0.945$ ,  $U_{\tau} = 0.000$ ,  $U = 0.945$
- 3:  $U_{\sigma} = 0.945$ ,  $U_{\tau} = 0.000$ ,  $U = 0.945$
- 4:  $U_{\sigma} = 0.945$ ,  $U_{\tau} = 0.000$ ,  $U = 0.945$
- 5:  $U_{\sigma} = 0.945$ ,  $U_{\tau} = 0.000$ ,  $U = 0.945$
- 6:  $U_{\sigma} = 0.945$ ,  $U_{\tau} = 0.000$ ,  $U = 0.945$

max. Lastfaktor (plast.):  $f_{pl} = 1.058$

Verwölbungsungleichgewicht im Grenzzustand:  $\Delta B = -0.000$  kNm<sup>2</sup>

Ausnutzung (ohne Verwölbungsungleichgewicht):  $U_{pl} = 0.945$

Nachweis:  $U_{pl} = 0.945 < 1$  ok

c/t-Nachweis: Ausnutzung  $U_{c/t} = 0.222 < 1$  ok

Ausnutzung des Trägers  $\max(U_{\sigma}, U_{c/t}) = 0.945 < 1$  ok

### 3.4. Gesamt

Ausnutzung Lk 2  $U_{\max} = 0.945 < 1$  ok

## 4. Endergebnis

Maximale Ausnutzung der Stirnplatte aus 2 Lk: max  $U_p$  mit Zugehörigen

Kno	x mm	y mm	$u_z$ mm	$b_z$ N/mm <sup>2</sup>	$m_{xx}$ kNm/m	$m_{yy}$ kNm/m	$m_{xy}$ kNm/m	$q_x$ kN/m	$q_y$ kN/m	$U_p$
647	84.5	228.3	0.144	0.00	-11.05	-8.12	-2.37	414.46	-660.46	0.540

x,y: Knotenkoordinaten;  $u_z$ : Verformungen (abhebend positiv);  $b_z$ : Kontaktpressungen (Druck positiv);  $m_{xx}, m_{yy}, m_{xy}$ : Momente  
 $q_x, q_y$ : Querkräfte;  $q_x, q_y$ : Querkräfte;  $U_p$ : Ausnutzung der Stirnplatte

Maximale Ausnutzung der Schrauben aus 2 Lk: max  $U_s$  mit Zugehörigen

	x mm	y mm	$F_t$ kN	$U_{wt}$	$U_{vt}$	$U_b$	$U_s$
1	130.0	270.0	57.66	0.230	---	---	0.231
2	233.9	210.0	57.66	0.227	---	---	0.231
3	233.9	90.0	57.66	0.227	---	---	0.231
4	130.0	30.0	57.66	0.230	---	---	0.231
5	26.1	90.0	57.66	0.227	---	---	0.231
6	26.1	210.0	57.66	0.227	---	---	0.231

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 1]

max  $U_p = 0.540 < 1$  ok

Maximale Ausnutzung der Schrauben aus Dehnung [Lk 1]

max  $U_{wt,s} = 0.230 < 1$  ok

Maximale Ausnutzung der Schrauben [Lk 1]

max  $U_s = 0.231 < 1$  ok

Maximale Ausnutzung des Trägers [Lk 2]

max  $(U_q, U_{ct}) = 0.945 < 1$  ok

Maximale Ausnutzung [Lk 2]

max  $U = 0.945 < 1$  ok

Nachweis erbracht

## 5. 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;

