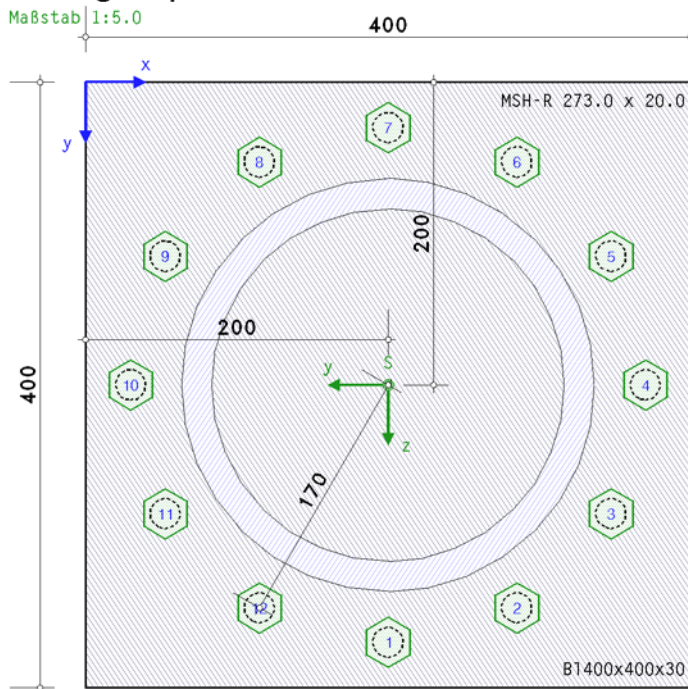


## 1. Eingabeprotokoll



### Stahlsorte

Stahlgüte S355

### Schrauben

Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M20, normale Schlüsselweite

Gewinde in der Scherfuge

### Verbindung

Stirnplatte (rechteckig): Dicke  $t_p = 30.0$  mm, Breite  $b_p = 400.0$  mm, Länge  $l_p = 400.0$  mm

Träger: Profil MSH-R 273.0 x 20.0

Träger-Stirnplatte: umlaufende Stumpfnaht (durchgeschweißt)

Trägerprofil mittig auf der Stirnplatte (Trägerschwerpunkt in Plattenmitte)

Koordinaten des Trägerschwerpunkts auf der Stirnplatte  $x_s = 200.0$  mm,  $y_s = 200.0$  mm

Schrauben:

kreisförmige Anordnung von 12 Schrauben im Radius  $r = 170.0$  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 Schweißnähte mit dem richtungsbezogenen Verfahren

Nachweis der Schrauben, die Abstände werden überprüft

FEM-Berechnung:

Die Schrauben werden plastisch berechnet, Federkonstante der Schrauben  $c_f = 6533.3$  kN/cm

plastische Grenzkraft  $F_{t,f} = f_{t,f} \cdot F_{t,Rd} = 167.6$  kN,  $f_{t,f} = 0.950$ ,  $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.40$  kN,  $k_2 = 0.90$

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

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

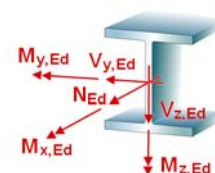
rechnerischer Bettungsmodul der Stirnplatte  $c_b = 7000.0$  kN/cm<sup>3</sup>

Anzahl / Größe der finiten Elemente je Richtung  $n_x / \Delta x = 53 / 7.5$  mm,  $n_y / \Delta y = 53 / 7.5$  mm

max. 50 Iterationsschritte bei einer Toleranzgrenze von 5%

**Schnittgrößen** bezogen auf die Querschnittsachsen

LK	$N_{Ed}$ kN	$M_{y,Ed}$ kNm	$V_{z,Ed}$ kN	$M_{z,Ed}$ kNm	$V_{y,Ed}$ kN	$M_{x,Ed}$ kNm
1	-169.42	-183.86	-36.77	91.74	-18.35	50.10
2	60.30	22.74	4.55	-184.49	18.15	-83.61
3	-143.32	-138.74	-27.75	127.81	-25.56	63.40
4	23.41	-40.87	-8.17	-182.80	17.81	-87.44
5	-106.43	-75.13	-15.03	126.12	-25.22	67.22
6	-168.10	-175.68	-35.14	89.63	-17.93	54.78
7	59.38	17.02	3.40	-183.00	17.85	-86.89



### 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 !

FEM: Der Schraubenabstand vom freien Blechrand ist zu gering (min  $e = 30.0 \text{ mm} < 37.0 \text{ mm}$ ).

Die Genauigkeit der Ergebnisse kann nicht gewährleistet werden !!

### 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	$U_p$	$U_\sigma$	$U_b$	$U_{pl,s}$	$U_{pl,t,s}$	$U_{wt,s}$	$U_{t,s}$	$U_{vt,s}$	$U_{b,s}$	$U_q$	$U_{ct}$	$U_w$	U
1	0.816	0.816	0.262	0.392	0.897	0.624	0.240	0.733	0.115	0.483	0.295	0.525	0.897
2	0.801	0.801	0.224	0.514	0.939	0.715	0.240	1.030	0.220	0.476	0.295	0.460	1.030!
3	0.720	0.720	0.301	0.288	0.780	0.406	0.240	0.772	0.129	0.461	0.295	0.480	0.780
4	0.791	0.791	0.239	0.490	0.888	0.614	0.240	1.082	0.248	0.485	0.295	0.457	1.082*
5	0.523	0.523	0.185	0.274	0.602	0.214	0.230	0.722	0.118	0.380	0.295	0.373	0.722
6	0.764	0.764	0.280	0.371	0.849	0.505	0.240	0.742	0.118	0.470	0.295	0.505	0.849
7	0.788	0.788	0.232	0.510	0.928	0.654	0.240	1.056	0.223	0.477	0.295	0.455	1.056!

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

U: Gesamtausnutzung

\*) maximale Ausnutzung

## 2. Endergebnis

### Maximale Ausnutzung der Stirnplatte aus 7 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	$U_p$
1795	249.1	90.6	0.643	0.00	-58.68	-68.43	6.63	-16.51	-84.84	0.816

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 7 Lk: max $U_s$ mit Zugehörigen

	x mm	y mm	$F_t$ kN	$U_{wt}$	$U_{vt}$	$U_b$	$U_s$
1	200.0	370.0	20.36	0.023	1.082	0.248	1.082 > 1
2	285.0	347.2	5.76	0.006	0.994	0.162	0.994
3	347.2	285.0	76.39	0.087	0.772	0.078	0.772
4	370.0	200.0	149.35	0.198	0.744	0.029	0.744
5	347.2	115.0	167.58	0.391	0.726	0.009	0.726
6	285.0	52.8	15.18	0.017	0.976	0.152	0.976
7	200.0	30.0	38.51	0.044	1.056	0.223	1.056 > 1
8	115.0	52.8	155.31	0.203	0.796	0.032	0.796
9	52.8	115.0	167.58	0.606	0.758	0.014	0.758
10	30.0	200.0	167.58	0.654	0.760	0.016	0.760
11	52.8	285.0	167.58	0.569	0.759	0.014	0.759
12	115.0	347.2	131.03	0.152	0.884	0.068	0.884

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]

Maximale Ausnutzung der Schrauben aus Dehnung [Lk 2]

Maximale Ausnutzung der Schrauben [Lk 4]

Maximale Ausnutzung des Trägers [Lk 4]

Maximale Ausnutzung der Schweißnähte [Lk 1]

Maximale Ausnutzung [Lk 4]

max  $U_p = 0.816 < 1$  ok

max  $U_{wt,s} = 0.715 < 1$  ok

max  $U_s = 1.082 > 1$  nicht ok !!

max  $(U_q, U_{ct}) = 0.485 < 1$  ok

max  $U_w = 0.525 < 1$  ok

max U = 1.082 > 1 nicht ok !!

Tragfähigkeit nicht gewährleistet !!

## 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;

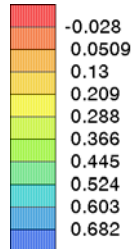
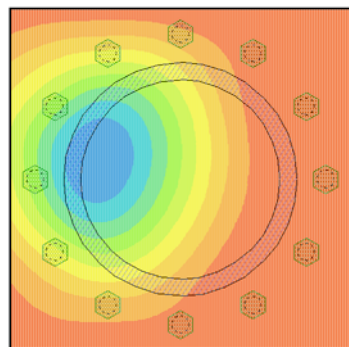
## 4. Lk 4 (maßgebend)

### 4.1. Stirnplatte

Bemessungsgrößen:  $N = 23.41 \text{ kN}$ ,  $M_y = -40.87 \text{ kNm}$ ,  $M_z = -182.80 \text{ kNm}$

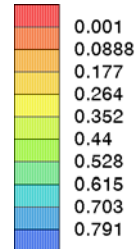
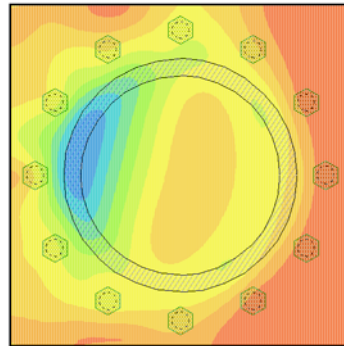
#### Verformungen $u_z$ [mm]

min  $u_z = -0.0277 \text{ mm}$ , max  $u_z = 0.6783 \text{ mm}$



#### Ausnutzung der Stirnplatte $U_p$

min  $U_p = 0.001$ , max  $U_p = 0.791$



Verformungen abhebend positiv

#### Ausnutzung der Stirnplatte

Kno	x mm	y mm	$u_z$ mm	$U_p$
619	83.0	181.1	0.660	0.791
726	98.1	173.6	0.678	0.746

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

#### Ausnutzung der Schrauben

	x mm	y mm	$w_t$ mm	$F_t$ kN	$\varepsilon_{wt}$ %	$U_{wt}$
1	200.0	370.0	0.016	20.36	0.052	0.023
2	285.0	347.2	-0.003	0.01	0.000	---
3	347.2	285.0	0.001	2.06	0.002	0.001
4	370.0	200.0	0.001	2.31	0.003	0.001
5	347.2	115.0	-0.003	0.06	0.000	---
6	285.0	52.8	0.012	15.18	0.039	0.017
7	200.0	30.0	0.071	92.27	0.236	0.105
8	115.0	52.8	0.227	167.58	0.755	0.336
9	52.8	115.0	0.409	167.58	1.363	0.606
10	30.0	200.0	0.415	167.58	1.382	0.614
11	52.8	285.0	0.263	167.58	0.875	0.389
12	115.0	347.2	0.103	131.03	0.342	0.152

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

Ausnutzung der Stirnplatte [Kno 619]  $U_{\max} = 0.791 < 1$  ok

Ausnutzung der Schrauben aus Dehnung [Schraube 10]  $U_{s,\max} = 0.614 < 1$  ok

minimale plastische Ausnutzung der Schrauben  $U_{pl,s,\min} = 0.490 < 1$  ok

plastische Ausnutzung der Schraubenzugkräfte  $U_{pl,t,s} = 0.888 < 1$  ok

### 4.2. Schrauben

Bemessungsgrößen: min  $F_t = 0.01 \text{ kN}$ , max  $F_t = 167.58 \text{ kN}$ ,  $V_z = -8.17 \text{ kN}$ ,  $V_y = 17.81 \text{ kN}$ ,  
 $M_x = -87.44 \text{ kNm}$

#### 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	$U_{tp,1} = 0.029$	$U_{vt,1} = 1.082$	$U_{b,1} = 0.248$	$U_1 = 1.082$
Schraube 2	$U_{tp,2} = 0.000$	$U_{vt,2} = 0.846$	$U_{b,2} = 0.141$	$U_2 = 0.846$
Schraube 3	$U_{tp,3} = 0.003$	$U_{vt,3} = 0.591$	$U_{b,3} = 0.112$	$U_3 = 0.591$
Schraube 4	$U_{tp,4} = 0.003$	$U_{vt,4} = 0.525$	$U_{b,4} = 0.104$	$U_4 = 0.525$
Schraube 5	$U_{tp,5} = 0.000$	$U_{vt,5} = 0.716$	$U_{b,5} = 0.142$	$U_5 = 0.716$
Schraube 6	$U_{tp,6} = 0.022$	$U_{vt,6} = 0.976$	$U_{b,6} = 0.152$	$U_6 = 0.976$
Schraube 7	$U_{tp,7} = 0.132$	$U_{vt,7} = 0.979$	$U_{b,7} = 0.144$	$U_7 = 0.979$
Schraube 8	$U_{tp,8} = 0.240$	$U_{vt,8} = 0.752$	$U_{b,8} = 0.014$	$U_8 = 0.752$
Schraube 9	$U_{tp,9} = 0.240$	$U_{vt,9} = 0.758$	$U_{b,9} = 0.014$	$U_9 = 0.758$
Schraube 10	$U_{tp,10} = 0.240$	$U_{vt,10} = 0.759$	$U_{b,10} = 0.016$	$U_{10} = 0.759$

Schraube 11	$U_{tp,11} = 0.240$	$U_{vt,11} = 0.756$	$U_{b,11} = 0.013$	$U_{11} = 0.756$
Schraube 12	$U_{tp,12} = 0.188$	$U_{vt,12} = 0.884$	$U_{b,12} = 0.068$	$U_{12} = 0.884$
Gesamt:	$U_{tp} = 0.240$	$U_{vt} = 1.082$	$U_b = 0.248$	$U = 1.082 > 1$ <b>nicht ok !!</b>

In der Ausnutzung der Schrauben max  $U_s$  ist die minimale plastische Ausnutzung der Schrauben min  $U_{pl,s} = 0.490$  sowie die plastische Ausnutzung der Schraubenzugkräfte  $U_{pl,t,s} = 0.888$  enthalten.

**Ausnutzung der Schrauben**  $U_{max} = 1.082 > 1$  **nicht ok !!**

#### 4.3. Träger

plastischer Spannungsnachweis für  $N = 23.41$  kN,  $M_y = -40.87$  kNm,  $V_z = -8.17$  kN,  $M_z = -182.80$  kNm  
 $V_y = 17.81$  kN,  $T_t = -87.44$  kNm

Schnittgrößen bzgl. yz-Richtung in kN, m:  $M_y = -40.87$ ,  $M_z = -182.80$ ,  $V_y = 17.81$ ,  $V_z = -8.17$

Teilschnittgrößen der Linien des Querschnitts in kN, m:

- 1:  $N = -143.67$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = -0.00$ ,  $V_y = 45.15$ ,  $V_z = 8.98$ ,  $T = -0.05$
- 2:  $N = -144.88$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = -0.00$ ,  $V_y = 37.69$ ,  $V_z = 25.18$ ,  $T = -0.05$
- 3:  $N = -146.43$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = -0.00$ ,  $V_y = 24.69$ ,  $V_z = 36.95$ ,  $T = -0.05$
- 4:  $N = -148.08$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = -0.00$ ,  $V_y = 8.48$ ,  $V_z = 42.64$ ,  $T = -0.05$
- 5:  $N = -149.58$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = 0.00$ ,  $V_y = -8.31$ ,  $V_z = 41.79$ ,  $T = -0.05$
- 6:  $N = -150.70$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = 0.00$ ,  $V_y = -23.31$ ,  $V_z = 34.89$ ,  $T = -0.05$
- 7:  $N = -151.28$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = 0.00$ ,  $V_y = -34.61$ ,  $V_z = 23.13$ ,  $T = -0.05$
- 8:  $N = 34.41$ ,  $M_y = -0.31$ ,  $M_z = -1.57$ ,  $V_y = -40.86$ ,  $V_z = 8.13$ ,  $T = -0.05$
- 9:  $N = -1.14$ ,  $M_y = -0.34$ ,  $M_z = -1.72$ ,  $V_y = 45.54$ ,  $V_z = -9.06$ ,  $T = -0.05$
- 10:  $N = 142.92$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = 0.00$ ,  $V_y = 38.63$ ,  $V_z = -25.81$ ,  $T = -0.05$
- 11:  $N = 143.49$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = 0.00$ ,  $V_y = 25.63$ ,  $V_z = -38.36$ ,  $T = -0.05$
- 12:  $N = 144.61$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = 0.00$ ,  $V_y = 8.87$ ,  $V_z = -44.61$ ,  $T = -0.05$
- 13:  $N = 146.11$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = -0.00$ ,  $V_y = -8.70$ ,  $V_z = -43.76$ ,  $T = -0.05$
- 14:  $N = 147.77$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = -0.00$ ,  $V_y = -24.26$ ,  $V_z = -36.30$ ,  $T = -0.05$
- 15:  $N = 149.31$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = -0.00$ ,  $V_y = -35.56$ ,  $V_z = -23.76$ ,  $T = -0.05$
- 16:  $N = 150.52$ ,  $M_y = 0.00$ ,  $M_z = -0.00$ ,  $V_y = -41.25$ ,  $V_z = -8.21$ ,  $T = -0.05$

Ausnutzungen der Linien des Querschnitts

- 1:  $U_\sigma = 0.410$ ,  $U_\tau = 0.243$ ,  $U = 0.476$
- 2:  $U_\sigma = 0.413$ ,  $U_\tau = 0.239$ ,  $U = 0.478$
- 3:  $U_\sigma = 0.418$ ,  $U_\tau = 0.235$ ,  $U = 0.479$
- 4:  $U_\sigma = 0.423$ ,  $U_\tau = 0.230$ ,  $U = 0.481$
- 5:  $U_\sigma = 0.427$ ,  $U_\tau = 0.226$ ,  $U = 0.483$
- 6:  $U_\sigma = 0.430$ ,  $U_\tau = 0.222$ ,  $U = 0.484$
- 7:  $U_\sigma = 0.432$ ,  $U_\tau = 0.221$ ,  $U = 0.485$
- 8:  $U_\sigma = 0.395$ ,  $U_\tau = 0.221$ ,  $U = 0.453$
- 9:  $U_\sigma = 0.406$ ,  $U_\tau = 0.244$ ,  $U = 0.474$
- 10:  $U_\sigma = 0.408$ ,  $U_\tau = 0.245$ ,  $U = 0.476$
- 11:  $U_\sigma = 0.409$ ,  $U_\tau = 0.243$ ,  $U = 0.476$
- 12:  $U_\sigma = 0.413$ ,  $U_\tau = 0.240$ ,  $U = 0.477$
- 13:  $U_\sigma = 0.417$ ,  $U_\tau = 0.236$ ,  $U = 0.479$
- 14:  $U_\sigma = 0.422$ ,  $U_\tau = 0.231$ ,  $U = 0.481$
- 15:  $U_\sigma = 0.426$ ,  $U_\tau = 0.226$ ,  $U = 0.482$
- 16:  $U_\sigma = 0.430$ ,  $U_\tau = 0.223$ ,  $U = 0.484$

max. Lastfaktor (plast.):  $f_{pl} = 2.062$

Verwölbungsgleichgewicht im Grenzzustand:  $\Delta B = -0.039$  kNm<sup>2</sup>

Ausnutzung (ohne Verwölbungsgleichgewicht):  $U_{pl} = 0.485$

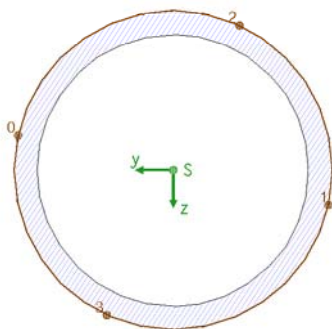
Nachweis:  $U_{pl} = 0.485 < 1$  **ok**

c/t-Nachweis: Ausnutzung  $U_{c/t} = 0.295 < 1$  **ok**

**Ausnutzung des Trägers**  $\max(U_\sigma, U_{c/t}) = 0.485 < 1$  **ok**

#### 4.4. Schweißnähte

Bemessungsgrößen:  $N = 23.41$  kN,  $M_y = -40.87$  kNm,  $V_z = -8.17$  kN,  $M_z = -182.80$  kNm,  
 $V_y = 17.81$  kN,  $M_x = -87.44$  kNm



Naht 1:  $a_w = 20.0$  mm  $l_w = 857.7$  mm

Max:  $\sigma_{1,w,Ed} = 174.15$  N/mm<sup>2</sup>  $< f_{1w,d} = 435.56$  N/mm<sup>2</sup>,

$$\sigma_{2,w,Ed} = 161.36 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 352.80 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_w = 0.457 < 1 \text{ ok}$$

Ausnutzung der Schweißnähte  $U_{\max} = 0.457 < 1$  ok

#### 4.5. Gesamt

Ausnutzung Lk 4  $U_{\max} = 1.082 > 1$  nicht ok !!