

# Festigkeitsberechnung/Stress Analysis

## Stand sicherheitsnachweis/Structural Analysis

**Bauvorhaben/Object :** Edelstahl Behälter Aceton- Tank ACT  
41944 L BS419 1 HM222

**Bauherr/Client :** SUMTEQ  
85283 Wolnzach

**Planung/Design :** Sielmann GmbH & Co. KG  
Zum Panrepel 3a  
28307 Bremen

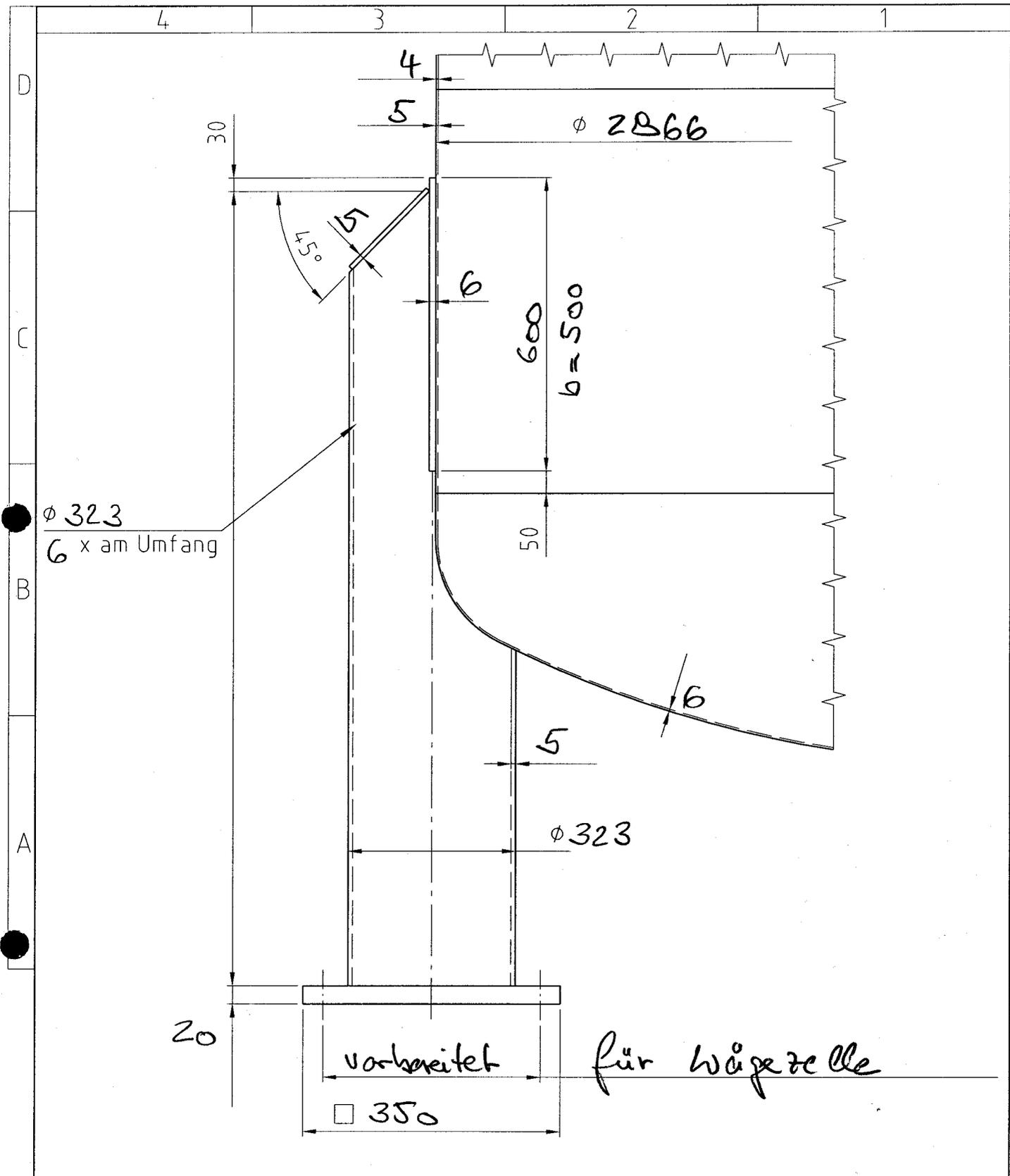
**ausführende Firma/  
Manufacturer :**

**Berechnung/  
Statical Calculation :** Laue Engineering  
Alte Dorfstraße 2  
27321 Thedinghausen  
Tel.: 04233-21 73 70

**Technische Daten/  
Technical Data :** max. Dichte der Flüssigkeiten/  
max. Density of Liquid: ... 1kg/dm<sup>3</sup>  
Betriebstemperatur/  
Working Temperature: ... 0/50 °C  
Innenaufstellung / Inside Location   
Außenaufstellung / Outside Location   
brennbare Flüssigkeiten / Flammeable Liquid   
Verträglichkeitsnachweis mit dem  
Behälterwerkstoff erfolgt bauseits  
Material - Compability - Verification by Client   
Material: 1.4301   
1.4571   
andere

**mitwirkende Normen  
und Regelwerke/  
relevant Standards :** AD 2000 (Behälter/Vessel)   
  
Eurocode 3 (Stahlbau/Steel work)   
Eurocode (Windzone/Wind Zone: )   
Eurocode (Schneezone/Snow Zone: )   
Eurocode (Erdbebenzone/Seismic Zone: )   
DIN 4119 (Flachbodentanks/  
Flat Bottom Tank)   
EN 10204 (Prüfbescheinigung 3.1/  
Material Certificate 3.1)   
WHG § 19





Die Zeichnung ist unser Eigentum. Jede Vervielfältigung, Verwertung oder Mitteilung an Dritte Personen ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.  
(Urheberrechtsgesetz, Gesetz gegen unlauteren Wettbewerb BGB)

DIN ISO 2768  
Teil 1 mittel



LAUE ENGINEERING  
ALTE DORFSTR. 2  
D - 27321 MORSUM

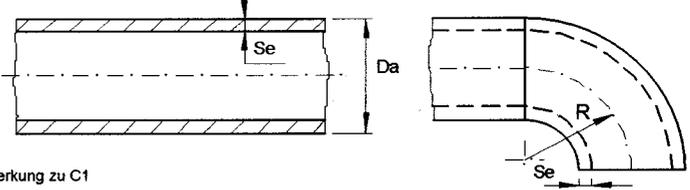
Masstab

	Datum	Name
Bearb.	16.04.21	Hessel
Gepr.		
Norm		
Angaben Ra nach DIN ISO 1302		
Reihe 3	√6.3/1.6/0.4/0.1	
Zust.	Aenderung	Datum
		Name
		EDV Nr.

Standard Fußkonstruktion  
Behälter mit Rohr-Standbeinen mit V-Blech

2021041603

Blatt  
1  
1 Bl.

1	<b>Aufgabenstellung</b>			M 1.1
2	Geltungsbereich	AD 2000 Merkblatt, Stand 2005 / B0, B1 Zylinderschalen, Rohre ; EN 13480-3 / 2002 Rohrbogen		
3	Literatur ; Quelle	Physikalische Kennwerte nach EN 13480-3, EN 13445-3		
4	Die mathe. Symbole, Anmerkungen, Verweise siehe <b>roter Punkt</b> sind Berechnungsbestandteil und zu beachten . Lesen : Cursor aufsetzen.			
5	<u>Zylinderschale unter Innendruck</u>			
6	Die Berechnung der Minustoleranzen erfolgt nur für die ausgeführten Wanddicken ( Bestelldicken ) von Rohren gem.Norm			
	$S = \frac{p \cdot Da}{20 \cdot K / S \cdot v + p} + C_{1,2} = e + C_{1,2}$			
	Rohrbogen : Standardverfahren nach EN 13480-3			
	$S_i = e \cdot \frac{R / Da - 0,25}{R / Da - 0,5} \quad S_a = e \cdot \frac{R / Da + 0,25}{R / Da + 0,5}$	Anmerkung zu C1		
	Hier verwendet : e = Festigkeitsdicke ohne Zuschlag ; ( e_a = S_e - C_{1,2} ) = verfügbare Festigkeitsdicke			
14	<b>Benennung</b>	<b>Einheit</b>	<b>Formel / Zeichen</b>	<b>Werte-Tabelle</b>
15	Berechnungsinndruck	bar	$p > 0$	2,00
16	Betriebstemperatur	°C	$-10 \leq t_b \leq 650$	50
17	Berechnungstemperatur	°C	$T \geq t_b$	50
18	<b>Bauteil - / Werkstoffauswahl</b>			erfüllt
19	Bauteilform / Werkstoffart / Norm	-	Datenbank 1	Zyl.Bauteil aus Blech, DIN EN10025 /-10207 /-10028
20	Wst-Nr./ Stahl / Dehngrenze / T	-	Datenbank 2	1.4301 / X5CrNi18-10 / Rp1.0
21	Sicherheitswert	-	$S \geq 1,5 \quad (\geq 1^*)$	1,50
22				erfüllt
23	Festigkeitswert bei T = 20°	N / mm <sup>2</sup>	K20°	250,00
24	Festigkeitswert b.BerechnungsTemp	N / mm <sup>2</sup>	K	250,00
25	Zulässige Berechnungsspannung	N / mm <sup>2</sup>	K / S	166,67
26			Anmerkung Daten	erfüllt
27	<b>Bauteilangaben</b>			erfüllt
28	Außendurchmesser	mm	$Da \geq 10$	2866,00
29	Korrosions- / Abnutzungszuschlag	mm	$C_2 \geq 0$	0,00
30	Schweißnahtfaktor	-	$0,7 \leq v \leq 1$	0,85
31				erfüllt
32	Berechnete Festigkeitsdicke incl. C2	mm	$S^* = \text{Max} ( e + C_2 ; 2 + C_2 )$	2,022
33	Gewählt : Ausgeführte Wanddicke	mm	$S_e \geq S^*$	4,00
34	( Maß der Liefornorm, Bestelldicke etc.)		Anmerkung	
35	Berechnete Minustoleranz für Rohr	mm	$C_1 = f ( T / Da )$	0,000
36	Bestätigt C1 oder andere Toleranz	mm	$C_1 \geq 0$	0,00
37	vom Bearbeiter festgelegt			
38				erfüllt
39	<b>Berechnung B0, B1</b>			
40	SUM Zuschlag	mm	$C_1 + C_2$	0,00
41	Erforderl.Wanddicke incl.Zuschlag	mm	$S \geq e + C_2 + C_1$	2,02163
42	Überprüfung des Geltungsbereichs		Zylinderschale : $( Da / D_i ) \leq 1,2$	1,003
43			Rohr $Da \leq 200 : ( Da / D_i ) \leq 1,7$	
44			Anmerkung B1	erfüllt
45	Verfügbare Festigkeitsdicke	mm	$e_a = S_e - C_{1,2}$	4,00
46	Zulässiger max.Innendruck	bar	$p_{max}$	3,960
47	Fiktiver Berechnungsdruck für		$p_r$	3,96
48	Wechseldruckbeanspruchung nach Modul AD S1			
			Anmerkung Bogen	
49	<b>Glattrohrbogen nach EN 13480-3</b>			
50	SUM Zuschlag Rohrbogen	mm	$C_{1,2}$	
51	Radius von Rohrbiegung / Rohrbogen	mm	$Da \leq R \leq 10 Da$	
52				
53	Festigkeitsdicke des Rohres	mm	$\text{Max} ( e ; 2 )$	
54	Berech.Dicke Bogeninnenseite	mm	$S_i$	
55	Erforderl.Dicke der Bogeninnenseite	mm	$S_i + C_{1,2}$	
56	Berech.Dicke Bogenaußenseite	mm	$S_a$	
57	Erforderl.Dicke der Bogenaußenseite	mm	$S_a + C_{1,2}$	
58	Erforderl.Bogendicke incl.Zuschlag	mm	$S \geq \text{Max} ( S_i, S_a ) + C_{1,2}$	
59	Bemerkungen			
60	21.04.2021		Bearbeiter	K. H. Lane

1	<b>Aufgabenstellung</b>	unterer und oberer Boden		M 2.1	
2	Geltungsbereich	AD 2000 Merkblatt Stand 2005 / B0, B3 / Vollboden und Boden mit unterschiedlicher Dicke			
3	Literatur ; Quelle	Physikalische Kennwerte nach EN 13480-3, EN 13445-3; Festigkeitsberechn. W.Wagner Vogel-V. 2000			
4	Die math. Symbole, Korrekturhilfen, Verweise siehe <b>roter Punkt</b> sind Berechnungsbestandteil und zu beachten. Lesen : Cursor aufsetzen				
5	<b>Gewölbter Boden ohne Ausschnitt</b> Der Abstand <b>X</b> ist bei allen Einschweißungen der Kalotte mindestens mit 100 mm auszuführen $\beta$ Wert digitalisiert nach AD B3 / Bild 7 / 8				
12	<b>Benennung</b>	<b>Einheit</b>	<b>Formel / Zeichen</b>	<b>Werte - Tabelle</b>	<b>Intern</b>
13				Gew. Boden unter inneren / äußeren Überdruck	
14	Berechnungsinndruck	bar	$p > 0$	2,00	
15	Betriebstemperatur	°C	$-10 \leq t_b \leq 650$	50	
16	Berechnungstemperatur	°C	$T \geq t_b$	50	
17	<b>Bauteil - / Werkstoffauswahl</b>			erfüllt	
18	Auswahl des gewölbten Bodens	-	Konstruktionsdatei	Klöpperboden, Kalottendicke $\leq$ Krempe	
19	Wst.-Nr. / Stahl / Dehngrenze / T	-	Datenbank	1.4301 / X5CrNi18-10 / Rp1,0	
20	Sicherheitswert	-	$S_i \geq 1,0$	1,50	
21				erfüllt	
22	Festigkeitskennwert bei $T = 20^\circ$	N / mm <sup>2</sup>	$K_{20^\circ}$	250,00	
23	Festigkeitskennwert Berech. Temp	N / mm <sup>2</sup>	K	250,00	
24	Zulässige Berechnungsspannung	N / mm <sup>2</sup>	$K / S_i$	166,67	
25	E-Modul bei Berechnungstemperatur	N / mm <sup>2</sup>	$E_T$	197.420	
26	E-Modul bestätigt oder anderer Wert	N / mm <sup>2</sup>	$E_T$	197.000	
27	<b>Bauteilangaben</b>			erfüllt	
28	Außen $\emptyset$ der zylindrischen Zarge	mm	$D_a$	2866,0	
29	Schweißnahtwertigkeit	-	$0,85 \leq v \leq 1$	0,85	
30	SUM Zuschlag Boden	mm	$C_{1,2} \geq 0$	0,00	
31	<i>Richtgröße</i> : Berech. Dicke Krempe	mm	$Se^*$	2,9	
32	<i>Gewählt</i> : Berechnungsdicke Krempe	mm	$Se \approx \text{Max} (se^*, 2+C_{1,2})$	5,00	
33	<i>Gewählt</i> : Berechnungsdicke Kalotte	mm	$Se \leq Se$	5,00	
34	<b>Berechnungsparameter</b>			Eingabe erfüllt	
35	Radius der Kalotte des Bodens	mm	$R = D_a$	2866,00	
36	Radius der Krempe	mm	$r = 0,1 D_a$	286,60	
37	Berechnungsdurchmesser der Kalotte	mm	$D_{a,K} = 2 (R + Se)$	5742,00	
38	Parameter des Beiwerte $\beta$	-	$(Se - C_{1,2}) / D_a$	0,001744592	
39		-	$d_i / D_a \leq 0,6$	0,00	
40		-		erfüllt	
41	Bestimmungswert für $\beta$	-	$(Se - C_{1,2}) / D_a$	0,0017	
43	Berechnungsbeiwert AD B3 / Bild 7 / 8	-	$\beta$	4,900	
44	<b>Nachweis bei Innendruck</b>				
46	Zulässiger Druck der Krempe	bar	$p_{Krempe}$	2,018	
45	Zulässiger Druck der Kugelschale	bar	$p_{Kalotte}$	4,939	
47	Zulässiger Innendruck des Bodens	bar	$p \leq p_{zul} \leq 1,1 p$	<b>2,018</b>	
48			$p_{zul} > 1,1 p$		
49			Anm. Berechnung	Für die Berechnungsdicke erfüllt	
50	<u>Prüfung Geltungsbereich</u>	$0,001 \leq Se - C_{1,2} / D_a \leq 0,1$		0,00174	
51		Halbkugelboden : $D_a / D_i \leq 1,2$		erfüllt	
52	<i>Fiktiver Berechnungsinndruck für</i>		$p_r$	2,02	
53	<i>Wechseldruckbeanspruchung nach Modul AD S1</i>				
54					

55	Benennung	Einheit	Formel / Zeichen	Werte - Tabelle	Intern
56	<b>Weitere Ausführungsmaße</b> , für den berechneten zulässigen Innendruck				
57	Höhe des zylindrischen Bords	mm	$\min < h_1 \leq \max$	17,5	150,0
58	Erf. Dicke des Halbkugelanschlusses	mm	$S_e \geq \beta S_e$	—	
59	Erf. Abstandsmaß der Schweißnaht	mm	$X \geq$	100,0	
60	<b>Nachweis bei Außendruck</b>				
61	Sicherheitswert gegen Außendruck		$S_a \geq S_i \cdot 1,2$ Pkt.4.3	1,80	
62	Sicherheit gegen elastisches Beulen	-	$S_K$ Pkt.4 ( 14 )	4,146	
63	Sicherheit gegen plastisches Beulen	-	$S^* = \text{Max} ( S_a ; 2,4 )$	2,400	
64	Zulässiger Druck gegen bleibende	bar	$p_{\text{Kalotte}}$ ( B1, 3 )	4,116	
65	Dehnungen im Bodenbereich $S = S_a$	bar	$p_{\text{Krempe}}$ ( 15 )	1,681	
66	Elastisches Beulen mit $S = S_K$	bar	$p \leq$ Pkt. 8.2.2 ( 16 )	0,530	
67	Plastisches Beulen der Kalotte $S = S^*$	bar	$p$ nach Pkt. 8.2.3	3,631	
68	<u>Zul. Außendruck des Bodens</u>	bar	$p_{\text{zul}}$	<b>0,530</b>	
69	Bemerkung				
70	21.04.2021	Bearbeiter			K. H. Laue

## Behälter mit Standbeinen - AD/S 3, DIN 18800-2, DIN 1024 - 1029

### Behälter mit Standbeinen

Lastfall (Betrieb=1, Prüfung=2)	n	1
Zahl der Auflager	d <sub>F</sub>	6
Teilkreisdurchmesser der Auflager	h <sub>Q</sub>	2866 mm
Hebelarm Querkraft	Quer	1300 mm
Querkraft	G <sub>d</sub>	0 N
betrieblich mögliches Maximalgewicht	G <sub>z</sub>	463000 N
betrieblich mögliches Minimalgewicht	h <sub>F</sub>	34000 N
Gesamte Profillänge	l <sub>K</sub>	1600 mm
Knicklänge des Profils (z.B: 2*h <sub>F</sub> )	e <sub>G</sub>	3200 mm
Abstand = Auflager - Behälter	φ	0 mm
Neigungswinkel Profil (gerades Profil=0)	p <sub>ber</sub>	0 °
Druck	T	2 bar
Temperatur		50 °C

### Werkstoffbezeichnung

Emodul Betrieb	1.4301	
Emodul Probe	E <sub>be</sub>	194000 N/mm <sup>2</sup>
Betriebsfestigkeit	E <sub>pr</sub>	196000 N/mm <sup>2</sup>
Prüffestigkeit	K <sub>be</sub>	230 N/mm <sup>2</sup>
Wanddickenunterschreitung	K <sub>pr</sub>	230 N/mm <sup>2</sup>
Korrosionszuschlag	c <sub>1</sub>	mm
Betriebssicherheit	c <sub>2</sub>	0 mm
Prüfsicherheit	S <sub>be</sub>	1.5
	S <sub>pr</sub>	1.05

### Profiltyp [0..8], Vorgabewerte

Profilname		8 [0-8]
Rohraußendurchmesser	B	323 mm
Rohrwanddicke	S	5 mm
Querschnitt	A	4995 mm <sup>2</sup>
Schwerpunkt x	E <sub>x</sub>	0 mm
Schwerpunkt y	E <sub>y</sub>	0 mm
Gewicht	G	kg/m
Trägheitsmoment x	J <sub>x</sub>	6.316e+7 mm <sup>4</sup>
Trägheitsmoment y	J <sub>y</sub>	6.316e+7 mm <sup>4</sup>
Trägheitsmoment ξ	J <sub>ξ</sub>	6.316e+7 mm <sup>4</sup>
Trägheitsmoment η	J <sub>η</sub>	6.316e+7 mm <sup>4</sup>
Widerstandsmoment x	W <sub>x</sub>	391063 mm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment y	W <sub>y</sub>	391063 mm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment ξ	W <sub>ξ</sub>	391063 mm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment η	W <sub>η</sub>	391063 mm <sup>3</sup>



LAUE ENGINEERING  
ALTE DORFSTR. 2 D-27321 THEDINGHAUSEN  
Tel. 04233-21737 1 Fax. 04233-21737 5

**Ergebnisse**

minimales Widerstandsmoment  
minimales Trägheitsmoment  
Eulersche Knickkraft  
Kleinste Druckkraft für DIN18800-2  
Gesamtmoment  
Normalkraft druckseitig (Druck > 0)  
Normalkraft zugseitig (Zug > 0)

Normalspannung (Querkraft=0)  
Normalspannung druckseitig  
Normalspannung zugseitig  
max. Vergleichsspannung  
Vergleichsspannung druckseitig  
Vergleichsspannung zugseitig  
Vergleichsspannung Eigengewicht (Q=0)  
Schubspannung (Querkraft=0)  
Schubspannung druckseitig  
Schubspannung zugseitig  
zul. Spannung Betrieb  
zul. Spannung Prüfung

Festigkeitsbedingung für gewählten Lastfall  
Festigkeitsbedingung Eigengewicht (Q=0)  
Anmerkung  
Stabilitätsnachweis nach DIN 18800 Teil 2 ist  
Tragfestigkeit nach DIN18800-2 ist

W **391063 mm<sup>3</sup>**  
J<sub>min</sub> **6.316e+7 mm<sup>4</sup>**  
F<sub>k</sub> **1.181e+7 N**  
N<sub>K</sub> **1052939 N**  
M **0 Nm**  
N<sub>Fd</sub> **77167 N**  
N<sub>Fz</sub> **-5100 N**

σ<sub>0</sub> **15.45 N/mm<sup>2</sup>**  
σ<sub>D</sub> **15.45 N/mm<sup>2</sup>**  
σ<sub>Z</sub> **1.021 N/mm<sup>2</sup>**  
σ<sub>V</sub> **15.45 N/mm<sup>2</sup>**  
σ<sub>V1</sub> **15.45 N/mm<sup>2</sup>**  
σ<sub>V2</sub> **1.021 N/mm<sup>2</sup>**  
σ<sub>V3</sub> **15.45 N/mm<sup>2</sup>**  
τ<sub>0</sub> **0 N/mm<sup>2</sup>**  
τ<sub>D</sub> **0 N/mm<sup>2</sup>**  
τ<sub>Z</sub> **0 N/mm<sup>2</sup>**  
f<sub>Be</sub> **153.3 N/mm<sup>2</sup>**  
f<sub>Pr</sub> **219 N/mm<sup>2</sup>**

**erfüllt**  
**erfüllt**

**nicht notwendig**



Gleichungen nach AD-S3/0 Abschnitt 4.4

$$M = \text{Quer} \cdot \frac{h_Q}{1000} = 0 \text{ N} \cdot \frac{1300 \text{ mm}}{1000} = 0 \text{ Nm}$$

$$N_{Fd} = \frac{\left( 4000 \cdot \frac{M}{d_F} + G_d \right)}{n} = \frac{\left( 4000 \cdot \frac{0 \text{ Nm}}{2866 \text{ mm}} + 463000 \text{ N} \right)}{6} = 77167 \text{ N} \tag{4}$$

für  $6 \geq 4$

$$N_{Fz} = \frac{\left( 4000 \cdot \frac{M}{d_F} - 0.9 \cdot G_z \right)}{n} = \frac{\left( 4000 \cdot \frac{0 \text{ Nm}}{2866 \text{ mm}} - 0.9 \cdot 34000 \text{ N} \right)}{6} = -6 \tag{6}$$

$$F_k = \pi^2 \cdot E \cdot \frac{J_{\min}}{l_K^2} = \pi^2 \cdot 194000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{6.316e+7 \text{ mm}^4}{(3200 \text{ mm})^2} = 1.181e+7 \text{ N}$$

= Knickkraft nach Euler bei Betrieb oder Prüfung

Spannungen aus Biegung und Kräften

$$\sigma_D = \frac{\left| N_{Fd} \cdot e_G - \frac{\text{Quer} \cdot l_D}{n} \right|}{W} + \frac{\left( N_{Fd} \cdot \cos(\varphi) + \frac{\text{Quer} \cdot \sin(\varphi)}{n} \right)}{A} =$$
$$\frac{\left| 77167 \text{ N} \cdot 0 \text{ mm} - \frac{0 \text{ N} \cdot 1600 \text{ mm}}{6} \right|}{391063 \text{ mm}^3} + \frac{\left( 77167 \text{ N} \cdot \cos(0) + \frac{0 \text{ N} \cdot \sin(0)}{6} \right)}{4995 \text{ mm}^2} = 15.45 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_z = \frac{\left| N_{Fz} \cdot e_G - \frac{\text{Quer} \cdot l_D}{n} \right|}{W} + \frac{\left| N_{Fz} \cdot \cos(\varphi) + \frac{\text{Quer} \cdot \sin(\varphi)}{n} \right|}{A} =$$
$$\frac{\left| -5100 \text{ N} \cdot 0 \text{ mm} - \frac{0 \text{ N} \cdot 1600 \text{ mm}}{6} \right|}{391063 \text{ mm}^3} + \frac{\left| -5100 \text{ N} \cdot \cos(0) + \frac{0 \text{ N} \cdot \sin(0)}{6} \right|}{4995 \text{ mm}^2} = 1.021 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_D = \frac{\left( N_{Fd} \cdot \sin(\varphi) - \frac{\text{Quer} \cdot \cos(\varphi)}{n} \right)}{A} = \frac{\left( 77167 \text{ N} \cdot \sin(0) - \frac{0 \text{ N} \cdot \cos(0)}{6} \right)}{4995 \text{ mm}^2} = 0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{VI} = \sqrt{\sigma_D^2 + 3 \cdot \tau_D^2}$$

Verankerung nötig falls

$$4 \frac{M}{d_F} > 0.7 G_z$$

Stabilitätsnachweis nach DIN 18800 Teil 2 nur erforderlich, wenn  $N_{Fd} > N_K$   
 $N_{Fd} = 77167 \text{ N}$        $N_K = 1052939 \text{ N}$

Stabilitätsnachweis nach DIN 18800 Teil 2 ist nicht notwendig

**Eingabewerte**

Momentenbeiwert für Biegeknicken (z.B. = 1)  
 Parameter für Abminderungsfaktor kappa

$\beta_M$   
 $\sigma$

Knicklinie $\sigma$	a 0.21	b 0.34	c 0.49	d 0.76
------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------

**Ergebnisse**

plastischer Formbeiwert (wird bei symmetrischen Profilen automatisch ermittelt)	$\sigma_{pl}$	1.293
vollplastische Normalkraft	$F_{dpl}$	765920 N
vollplastisches Moment	$M_{pld}$	77515 Nm
bezogener Schlankheitsgrad	$\lambda$	0.2547
Abminderungsfaktor	$\kappa$	
Moment auf die Fußplatte	$M_F$	0 Nm

Die Bedingung für Tragsicherheit ist

**Gleichungen**

$$\frac{N_{Fd}}{K} + \beta_M \cdot \frac{M}{M_{pld}} + D_n = \frac{77167 \text{ N}}{765920 \text{ N}} + \frac{0 \text{ Nm}}{77515 \text{ Nm}} + \dots \leq 1$$

$$\kappa = 1, \text{ für } \lambda = 0.2547 \leq 0.2$$

$$\kappa = 1 / (\kappa + \sqrt{(\kappa^2 - \lambda^2)}) \text{ für } \lambda > 0.2$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{F_{dpl}}{F_k}} = \sqrt{\frac{765920 \text{ N}}{1.181e7 \text{ N}}} = 0.2547$$

$$\kappa = 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2) = 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (0.2547 - 0.2) + (0.2547)^2) = \kappa$$

$\kappa = 77515 \text{ Nm}$

$$M_{pld} = \alpha_{pl} \cdot W \cdot \sigma_{all}$$

$$1.293 \cdot 391063 \text{ mm}^3 \cdot [153.3 \text{ N/mm}^2 \text{ or } 219 \text{ N/mm}^2] = 77515 \text{ Nm}$$

$$N_k = 0.22 \cdot E \cdot \frac{J_{min}}{h_F^2} = 0.22 \cdot 194000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{6.316e7 \text{ mm}^4}{(1600 \text{ mm})^2} = 1052939 \text{ N}$$

= maximale Normalkraft ohne Stabilitätsnachweis

*Thedinghausen, d. 23.4.21*