

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/dm³
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 ☒

D

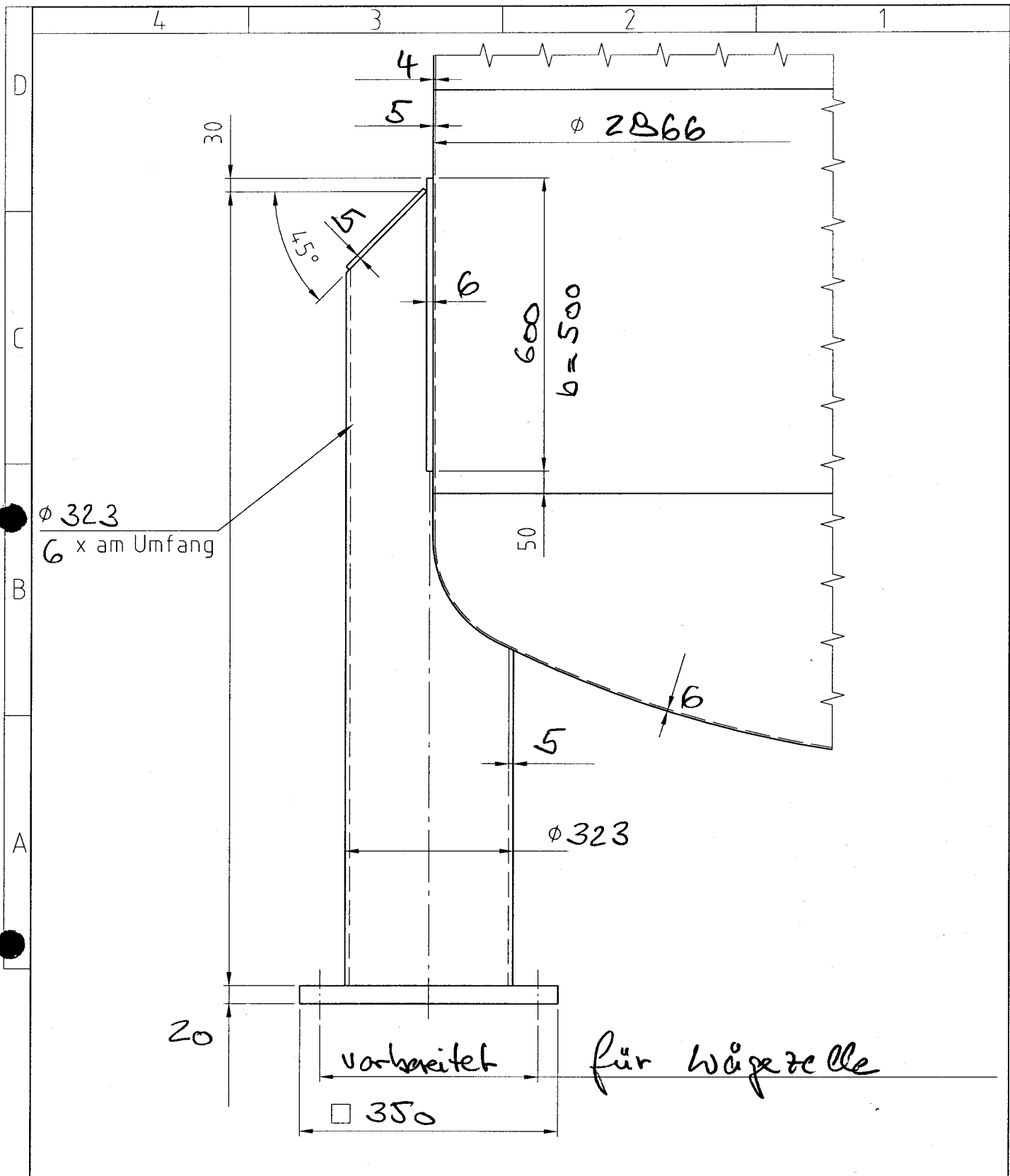
C

B

A



				INDICATION OF Ra ACC. TO DIN ISO 1302
				ROW 3 ✓ 6.3 / 1.6 / 0.4 / 0.1 ✓
NO.	REVISION	DATE	NAME	EDV NO.



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

Zust.	Änderung	Datum	Name

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

Standard Fußkonstruktion
Behälter mit Rohr-Standbeinen mit V-Blech

2021041603

Blatt
1
1 Bl.

1	Aufgabenstellung			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 roter Punkt sind Berechnungsbestandteil und zu beachten. Lesen : Cursor aufsetzen.			
5	Zylinderschale unter Innendruck			
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			
	$Si = e \cdot \frac{R / Da - 0,25}{R / Da - 0,5} \quad Sa = e \cdot \frac{R / Da + 0,25}{R / Da + 0,5}$			
	Anmerkung zu C1			
	Hier verwendet : e = Festigkeitsdicke ohne Zuschlag ; (ea = Se - C1,2) = verfügbare Festigkeitsdicke			
14	Benennung	Einheit	Formel / Zeichen	Werte-Tabelle
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	Bauteil - / Werkstoffauswahl			
19	Bauteilform / Werkstoff / 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 / mm²	K20°	250,00
24	Festigkeitswert b.BerechnungsTemp	N / mm²	K	250,00
25	Zulässige Berechnungsspannung	N / mm²	K / S	166,67
26	Anmerkung Daten			
27	Bauteilangaben			
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	$Se \geq S^*$	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	Berechnung B0, B1			
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 : $(Da / Di) \leq 1,2$	1,003
43			Rohr $Da \leq 200 : (Da / Di) \leq 1,7$	
44			Anmerkung B1	erfüllt
45	Verfügbare Festigkeitsdicke	mm	$ea = Se - C_{1,2}$	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	Glattrohrbogen nach EN 13480-3			
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	Si	
55	Erforderl.Dicke der Bogeninnenseite	mm	$Si + C_{1,2}$	
56	Berech.Dicke Bogenaußenseite	mm	Sa	
57	Erforderl.Dicke der Bogenaußenseite	mm	$Sa + C_{1,2}$	
58	Erforderl.Bogendicke incl.Zuschlag	mm	$S \geq \text{Max} (Si, Sa) + C_{1,2}$	
59	Bemerkungen			
60	21.04.2021	Bearbeiter		K. H. Lane

1	Aufgabenstellung		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 roter Punkt sind Berechnungsbestandteil und zu beachten. Lesen : Cursor aufsetzen				
5	Gewölbter Boden ohne Ausschnitt		<div><div><p>Vollboden, gleiche Dicke</p></div><div><p>Eingeschweißte Kalotte</p></div></div>		
Der Abstand X ist bei allen Einschweißungen der Kalotte mindestens mit 100 mm auszuführen		β Wert digitalisiert nach AD B3 / Bild 7 / 8			
12	Benennung	Einheit	Formel / Zeichen	Werte - Tabelle	Intern
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	Bauteil - / Werkstoffauswahl			erfüllt	
18	Auswahl des gewölbten Bodens	-	Konstruktionsdatei	Klörperboden, Kalottendicke \leq Krempendicke	
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 ²	K_{20°	250,00	
23	Festigkeitskennwert Berech.Temp	N / mm ²	K	250,00	
24	Zulässige Berechnungsspannung	N / mm ²	K / S_i	166,67	
25	E-Modul bei Berechnungstemperatur	N / mm ²	E_T	197.420	
26	E-Modul bestätigt oder anderer Wert	N / mm ²	E_T	197.000	
27	Bauteilangaben			erfüllt	
28	Außen Ø 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	Richtgröße : Berech.Dicke Krempe	mm	Se^*	2,9	
32	Gewählt : Berechnungsdicke Krempe	mm	$Se \approx \text{Max} (se^*, 2+C_{1,2})$	5,00	
33	Gewählt : Berechnungsdicke Kalotte	mm	$Se \leq Se$	5,00	
34	Berechnungsparameter			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 β	-	$(Se - C_{1,2}) / D_a$	0,001744592	
39		-	$d_i / D_a \leq 0,6$	0,00	
40		-		erfüllt	
41	Bestimmungswert für β	-	$(Se - C_{1,2}) / D_a$	0,0017	
43	Berechnungsbeiwert AD B3 / Bild 7 / 8	-	β	4,900	
44	Nachweis bei Innendruck				
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	$p \leq p_{zul} \leq 1,1 p$	2,018	
48			$p_{zul} > 1,1 p$		
49			Anm. Berechnung	Für die Berechnungsdicke erfüllt	
50	Prüfung Geltungsbereich		$0,001 \leq Se - C_{1,2} / D_a \leq 0,1$	0,00174	
51			Halbkugelboden : $D_a / D_i \leq 1,2$	erfüllt	
52	Fiktiver Berechnungsinndruck für		p_r	2,02	
53	Wechseldruckbeanspruchung nach Modul AD S1				
54					

Blatt 1 v. 2

55	Benennung	Einheit	Formel / Zeichen	Werte - Tabelle	Intern
56	Weitere Ausführungsmaße, 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	Nachweis bei Außendruck				
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	$p_{\text{Kalotte}} \quad (B1, 3)$	4,116	
65	Dehnungen im Bodenbereich $S = S_a$	bar	$p_{\text{Krempe}} \quad (15)$	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_{zul}	0,530	
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)

Zahl der Auflager

Teilkreisdurchmesser der Auflager

Hebelarm Querkraft

Querkraft

betriebl. mögliches Maximalgewicht

betriebl. mögliches Minimalgewicht

Gesamte Profillänge

Knicklänge des Profils (z.B: 2* h_F)

Abstand = Auflager - Behälter

Neigungswinkel Profil (gerades Profil=0)

Druck

Temperatur

n	1
d _F	6
h _Q	2866 mm
Quer	1300 mm
G _d	0 N
G _z	463000 N
h _F	34000 N
l _K	1600 mm
e _G	3200 mm
φ	0 mm
p _{ber}	0 °
T	2 bar
	50 °C

Werkstoffbezeichnung

Emodul Betrieb

Emodul Probe

Betriebsfestigkeit

Prüffestigkeit

Wanddickenunterschreitung

Korrosionszuschlag

Betriebssicherheit

Prüfsicherheit

1.4301	
E _{be}	194000 N/mm ²
E _{pr}	196000 N/mm ²
K _{be}	230 N/mm ²
K _{pr}	230 N/mm ²
c ₁	mm
c ₂	0 mm
S _{be}	1.5
S _{pr}	1.05

Profiltyp [0..8], Vorgabewerte

8 [0-8]

Profilname

Rohraußendurchmesser

Rohrwanddicke

Querschnitt

Schwerpunkt x

Schwerpunkt y

Gewicht

Trägheitsmoment x

Trägheitsmoment y

Trägheitsmoment ξ

Trägheitsmoment η

Widerstandsmoment x

Widerstandsmoment y

Widerstandsmoment ξ

Widerstandsmoment η

	Rohr	
B	323	mm
S	5	mm
A	4995	mm ²
E _x	0	mm
E _y	0	mm
G		kg/m
J _x	6.316e+7	mm ⁴
J _y	6.316e+7	mm ⁴
J _ξ	6.316e+7	mm ⁴
J _η	6.316e+7	mm ⁴
W _x	391063	mm ³
W _y	391063	mm ³
W _ξ	391063	mm ³
W _η	391063	mm ³

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 ³
J _{min}	6.316e+7 mm ⁴
F _k	1.181e+7 N
N _K	1052939 N
M	0 Nm
N _{Fd}	77167 N
N _{Fz}	-5100 N
σ ₀	15.45 N/mm ²
σ _D	15.45 N/mm ²
σ _Z	1.021 N/mm ²
σ _V	15.45 N/mm ²
σ _{V1}	15.45 N/mm ²
σ _{V2}	1.021 N/mm ²
σ _{V3}	15.45 N/mm ²
τ ₀	0 N/mm ²
τ _D	0 N/mm ²
τ _Z	0 N/mm ²
f _{Be}	153.3 N/mm ²
f _{Pr}	219 N/mm ²

erfüllt
erfüllt

nicht notwendig

Gleichungen nach AD-S3/0 Abschnitt 4.4

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

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

für $6 \geq 4$

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

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

= Knickkraft nach Euler bei Betrieb oder Prüfung

Spannungen aus Biegung und Kräften

$$\sigma_D = \frac{\left| N_{Fd} \cdot e_G - \frac{\text{Quer} \cdot I_D}{n} \right|}{W} + \frac{\left(N_{Fd} \cdot \cos(\varphi) + \frac{\text{Quer} \cdot \sin(\varphi)}{n} \right)}{A} =$$

$$\frac{\left| 77167 \text{ N} \cdot 0 \text{ mm} - \frac{0 \text{ N} \cdot 1600 \text{ mm}}{6} \right|}{391063 \text{ mm}^3} + \frac{\left(77167 \text{ N} \cdot \cos(0) + \frac{0 \text{ N} \cdot \sin(0)}{6} \right)}{4995 \text{ mm}^2} = 15.45 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_z = \frac{\left| N_{Fz} \cdot e_G - \frac{\text{Quer} \cdot I_D}{n} \right|}{W} + \frac{\left| N_{Fz} \cdot \cos(\varphi) + \frac{\text{Quer} \cdot \sin(\varphi)}{n} \right|}{A} =$$

$$\frac{\left| -5100 \text{ N} \cdot 0 \text{ mm} - \frac{0 \text{ N} \cdot 1600 \text{ mm}}{6} \right|}{391063 \text{ mm}^3} + \frac{\left| -5100 \text{ N} \cdot \cos(0) + \frac{0 \text{ N} \cdot \sin(0)}{6} \right|}{4995 \text{ mm}^2} = 1.021 \text{ N/mm}^2$$

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

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

Verankerung nötig falls

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

Stabilitätsnachweis nach DIN 18800 Teil 2 nur erforderlich, wenn $N_{Fd} > N_K$

$$N_{Fd} = 77167 \text{ N} \quad N_K = 1052939 \text{ N}$$

Stabilitätsnachweis nach DIN 18800 nicht notwendig
Teil 2 ist

Eingabewerte

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

β_M
 σ

Knicklinie σ	a 0.21	b 0.34	c 0.49	d 0.76
------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------

Ergebnisse

plastischer Formbeiwert (wird bei symmetrischen Profilen
automatisch ermittelt)
vollplastische Normalkraft $A \cdot \sigma_{all}$
vollplastisches Moment $\sigma_{pl} \cdot W \cdot \sigma_{all}$
bezogener Schlankheitsgrad $\sqrt{(F_{dpl}/F_K)}$
Abminderungsfaktor
Moment auf die Fußplatte

σ_{pl}	1.293
F_{dpl}	765920 N
M_{pld}	77515 Nm
λ	0.2547
κ	
M_F	0 Nm

Die Bedingung für Tragsicherheit ist

Gleichungen

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

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

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

$$\lambda = \sqrt{\frac{F_{dpl}}{F_K}} = \sqrt{\frac{765920 \text{ N}}{1.181e+7 \text{ N}}} = 0.2547$$

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

$$\kappa = 77515 \text{ Nm}$$

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

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

$$N_K = 0.22 \cdot E \cdot \frac{J_{min}}{h_F^2} = 0.22 \cdot 194000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{6.316e+7 \text{ mm}^4}{(1600 \text{ mm})^2} = 1052939 \text{ N}$$

= maximale Normalkraft ohne Stabilitätsnachweis

Thedinghausen, d. 23.4.21