Dezember 2015

DVS – DEUTSCHER VERBAND FÜR SCHWEISSEN UND VERWANDTE VERFAHREN E.V.

Berechnung von Behältern und Apparaten aus Thermoplasten – Stehende runde, drucklose Behälter – Beispiel für ringgestützten Kegelboden

Richtlinie DVS 2205-2 Beiblatt 8

Ersetzt Ausgabe Januar 2012

Inhalt:

1 Einleitung
2 Daten für den Behälter
3 Festigkeitsnachweis
4 Stabilitätsnachweise
5 Verankerungen

1 Einleitung

Dieses Beispiel soll die Anwendung des Beiblatts 7 zur Richtlinie DVS 2205-2 erleichtern.

2 Daten für den Behälter

Bauart:	Aus Platten gefertigter Zylinder und Zarge
Geometrie:	d = 2000 mm (innen); h_{Ges} = 5000 mm; α = 30°; a = 420 mm; 2 Unterstützungsringe
Aufstellung:	Außenaufstellung ohne windabschirmende Auffangvorrichtung Windzone 2 Binnenland; Schneelastzone 2 bis 285 m q = 0,65 kN/m² p_S = 0,68 kN/m², T_A = 10°C, T_{AK} = 35°C
Material:	PE 100; 25 Jahre
Füllung:	Akkusäure; $T_M = T_{MK}$ = 20°C; h_F = 4000 mm; $A_1 = A_{1K} = A_2 = A_{2I} = 1$; ρ_F = 1,29 g/cm³
Lüftung:	geschlossenes System $p_{üK} = p_ü$ = 0,01 bar, p_{uK} = 0,01 bar
Öffnungen:	d_A = 200 mm
Schweißung:	Längsnaht als Heizelementnaht, keine Quernaht im Kegelboden
Verankerung:	Pratzenbreite b_{Pr} = 70 mm

3 Festigkeitsnachweis

3.1 Erste Abschätzung

$$K_{L,d}^{Füllung} = \gamma_{F1} \cdot \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot (h_F - r \cdot \tan\alpha) \cdot \frac{1}{e^{A \cdot \ln\left(\frac{s}{d}\right) + B}} \cdot A_1 \cdot A_2 \quad \text{N/mm²}$$

und

$$K_{L,d}^{Füllung} = \gamma_{F1} \cdot \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot h_F \cdot \frac{1}{f_{sK} \cdot e^{C \cdot \ln\left(\frac{s}{d}\right) + D}} \cdot A_1 \cdot A_2 \quad \text{N/mm²}$$

nach Tabelle 1 des Beiblatts 7 gilt A = 1,5041, B = 2,1653, C = 1,6851, D = 3,0872, f_{sK} = 1 (keine Quernaht)

Die Formeln werden mit der Bedingung $K_{L,d}^{Füllung} = K_{L,d}^{*}$ = 10,2/1,3 nach s aufgelöst

$$s_1 = d \cdot e^{\frac{\ln\left(\frac{\gamma_{F1} \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot (h_F - r \cdot \tan\alpha) \cdot A_1 \cdot A_2}{K_{L,d}^{*}}\right) - B}{A}}$$

und

$$s_2 = d \cdot e^{\frac{\ln\left(\frac{\gamma_{F1} \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot h_F \cdot A_1 \cdot A_2}{K_{L,d}^{*} \cdot f_{sK}}\right) - D}{C}}$$

$$s_1 = 2000 \cdot e^{\frac{\ln\left(\frac{1,35 \cdot 1,29 \cdot 9,81 \cdot 10^{-6} \cdot (4000 - 1000 * \tan 30°) \cdot 1 \cdot 1}{\frac{10,2}{1,3}}\right) - 2,1653}{1,5041}} = 18,25 \text{ mm}$$

$$s_2 = 2000 \cdot e^{\frac{\ln\left(\frac{1,35 \cdot 1,29 \cdot 9,81 \cdot 10^{-6} \cdot 4000 \cdot 1 \cdot 1}{\frac{10,2}{1,3} \cdot 1}\right) - 3,0872}{1,6851}} = 19,18 \text{ mm}$$

gewählt s = 20 mm.

3.2 Überprüfung

Es wird überprüft, ob s = 20 mm auch für die Summe aus Lastfall Füllung und Lastfall $p_ü$ ausreicht.

Lastfall Füllung

$$K_{L,d}^{Füllung} = \gamma_{F1} \cdot \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot \max\left[(h_F - r \cdot \tan\alpha) \cdot \frac{1}{e^{A \cdot \ln\left(\frac{s}{d}\right) + B}},\; h_F \cdot \frac{1}{f_{sK} \cdot e^{C \cdot \ln\left(\frac{s}{d}\right) + D}}\right] \cdot A_1 \cdot A_2$$

$$\max\left[(4000 - 1000 \cdot \tan 30°) \cdot \frac{1}{e^{1,5041 \cdot \ln\left(\frac{20}{2000}\right) + 2,1653}},\; 4000 \cdot \frac{1}{1 \cdot e^{1,6851 \cdot \ln\left(\frac{20}{2000}\right) + 3,0872}}\right] = \max(400115,\; 428061) = 428061$$

$$K_{L,d}^{Füllung} = 1,35 \cdot 1,29 \cdot 9,81 \cdot 10^{-6} \cdot 428061 \cdot 1 \cdot 1 = 7,313 \text{ N/mm²}$$

DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe „Fügen von Kunststoffen“

Bezug: DVS Media GmbH, Postfach 10 19 65, 40010 Düsseldorf, Telefon (02 11) 15 91- 0, Telefax (02 11) 15 91-150

Lastfall Überdruck

$$K^{pü}_{L,d} = \gamma_{F2} \cdot p_ü \cdot \frac{1}{e^{E \cdot \ln\left(\frac{s}{d}\right) + F}} \cdot A_1 \cdot A_2$$

mit E = 1,3933; F = 1,4169 nach Tabelle 1 des Beiblatts 7 folgt

$$K^{pü}_{L,d} = 1{,}5 \cdot 0{,}001 \cdot \frac{1}{e^{1{,}3933 \cdot \ln\left(\frac{20}{2000}\right) + 1{,}4169}} \cdot 1 \cdot 1 = \frac{0{,}0015}{0{,}006714}$$

$$= 0{,}223 \text{ N/mm}^2$$

Ausnutzung

$$\eta = \frac{K^{Füllung}_{L,d} + K^{pü}_{L,d}}{K^{*}_{L,d}} = \frac{7{,}313 + 0{,}223}{\frac{10{,}2}{1{,}3}} = 0{,}96 < 1$$ **Bedingung erfüllt!**

4 Stabilitätsnachweise

4.1 Unterstützungsringe

4.1.1 Lastfall Füllung

Die größte Druckbeanspruchung in den Unterstützungsringen ergibt sich aus

$$K^{Füllung}_{R} = \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot \left(h_F - \frac{2}{3} \cdot r \cdot \tan\alpha\right) \cdot \frac{1}{e^{K \cdot \ln\left(\frac{s}{d}\right) + L}} \quad \text{N/mm}^2$$

mit K = 1,0575; L = 2,1291 nach Tabelle 1 folgt

$$K^{Füllung}_{R} = 1{,}29 \cdot 9{,}81 \cdot 10^{-6} \cdot \left(4000 - \frac{2}{3} \cdot 1000 \cdot \tan 30°\right) \cdot \frac{1}{e^{1{,}0575 \cdot \ln\left(\frac{20}{2000}\right) + 2{,}1291}}$$

$$K^{Füllung}_{R} = 0{,}000012655 \cdot 3615{,}1 \cdot 15{,}5 = 0{,}709 \text{ N/mm}^2$$

4.1.2 Lastfall Überdruck

Die größte Druckbeanspruchung in den Unterstützungsringen ergibt sich aus

$$K^{püK}_{R} = p_{üK} \cdot \frac{1}{e^{P \cdot \ln\left(\frac{s}{d}\right) + Q}}$$

mit P = 1,0567 Q = 2,2372 folgt

$$K^{püK}_{R} = 0{,}001 \cdot \frac{1}{e^{1{,}0567 \cdot \ln\left(\frac{20}{2000}\right) + 2{,}2372}} = \frac{0{,}001}{0{,}07214}$$

$$= 0{,}01386 \text{ N/mm}^2$$

Der größte Unterstützungsring hat den Radius

$$r_R = \frac{\left(r + \frac{s}{2}\right) \cdot n}{n + 1} = \frac{1012{,}5 \cdot 2}{2 + 1} = 675 \text{ mm}$$

$$N^{Füllung}_{R,d} = \gamma_{F1} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_R \cdot s \cdot K^{Füllung}_{R} = 1{,}35 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 675 \cdot 20 \cdot 0{,}709 = 81188 \text{ N}$$

$$N^{püK}_{R,d} = \gamma_{F2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_R \cdot s \cdot K^{püK}_{R} = 1{,}5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 675 \cdot 20 \cdot 0{,}01386 = 1763 \text{ N}$$

Für Innen- und Außenaufstellung gilt

$$\sigma^{vorh}_{R,d} = \left(N^{Füllung}_{R,d} + N^{püK}_{R,d}\right) \cdot \left(\frac{1}{A_R} + \frac{z_S}{W_R}\right) \quad \text{N/mm}^2$$

mit den Querschnittswerten für den offenen Ring r = 675 mm; d_A = 200 mm
A_R = 80808 mm²; z_S = 33,41 mm; W_R = 24848209 mm³ folgt

$$\sigma^{vorh}_{R,d} = (81188 + 1763) \cdot \left(\frac{1}{80808} + \frac{33{,}41}{24848209}\right) = 1{,}13 \text{ N/mm}^2$$

Es muss folgende Bedingung für den Unterstützungsring eingehalten werden

$$\eta_{A,R} = \frac{\sigma^{vorh}_{R,d}}{\sigma_{k,R,d}} \leq 1$$

Mit

$$\alpha_R = \frac{0{,}65}{\sqrt{\frac{E_K^{20°C}}{E_L^{20°C}} \cdot \left(1 + \frac{r_R}{100 \cdot s}\right)}} = \frac{0{,}65}{\sqrt{\frac{800}{235} \cdot \left(1 + \frac{675}{100 \cdot 20}\right)}} = 0{,}3046$$

und wegen $h_R/r_R > 0{,}5$

$$\sigma_{k,R,d} = \alpha_R \cdot 0{,}62 \cdot \frac{E_K^{T°C}}{\gamma_M} \cdot \frac{s}{r_R} = 0{,}3046 \cdot 0{,}62 \cdot \frac{613}{1{,}3} \cdot \frac{20}{675}$$

$$= 2{,}64 \text{ N/mm}^2$$

$E_K^{T°C}$ = 613 N/mm² für $(T_{MK} + T_{A})/2$ = 27,5°C

folgt

$$\eta_{A,R} = \frac{\sigma^{vorh}_{R,d}}{\sigma_{k,R,d}} = \frac{1{,}13}{2{,}64} = 0{,}43 < 1$$ **Bedingung erfüllt!**

4.2 Zarge

4.2.1 Lastfall Füllung

Die größte Druckbeanspruchung in der Zarge ergibt sich aus

$$K^{Füllung}_{Zar} = \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot \left(h_F - \frac{2}{3} \cdot r \cdot \tan\alpha\right) \cdot \frac{1}{e^{M \cdot \ln\left(\frac{s}{d}\right) + N}} \quad \text{N/mm}^2$$

mit M = 0,8946; N = 1,7599 nach Tabelle 1 folgt

$$K^{Füllung}_{Zar} = 1{,}29 \cdot 9{,}81 \cdot 10^{-6} \cdot \left(4000 - \frac{2}{3} \cdot 1000 \cdot \tan 30°\right) \cdot \frac{1}{e^{0{,}8946 \cdot \ln\left(\frac{20}{2000}\right) + 1{,}7599}}$$

$$K^{Füllung}_{Zar} = 0{,}000012655 \cdot 3615{,}1 \cdot 10{,}59 = 0{,}484 \text{ N/mm}^2$$

$$N^{Füllung}_{Zar,d} = \gamma_{F1} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot s \cdot K^{Füllung}_{Zar} = 1{,}35 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot 20 \cdot 0{,}484$$

$$= 82108{,}7 \text{ N}$$

$$M_W = c_f \cdot q \cdot d \cdot \frac{h_{ges}^2}{2} = 0{,}8 \cdot \frac{0{,}65}{1000} \cdot (2000 + 40) \cdot \frac{5000^2}{2}$$

$$= 13260000 \text{ Nmm}$$

4.2.2 Lastfall Überdruck

Der Lastfall Überdruck wird nicht betrachtet, da er die Zarge auf Zug beansprucht.

4.2.3 Bemessung

Es muss nur der Nachweis für den Sommerlastfall geführt werden

$$\sigma^{vorh}_{Zar,d} = \left[N^{Füllung}_{Zar,d} \cdot \left(\frac{1}{A_R} + \frac{z_S}{W_R}\right) + \frac{\gamma_{F2} \cdot M_W}{W_R}\right] \quad \text{N/mm}^2$$

mit den Querschnittswerten für den offenen Ring r = 1010 mm; d_A = 200 mm

A_R = 122914 mm²; z_S = 32,87 mm; W_R = 58318536 mm³

ohne Wind mit $E_k^{T°C}$ 270 N/mm² bei 50°C

$$\sigma^{vorh}_{Zar,d} = \left[82108{,}7 \cdot \left(\frac{1}{122914} + \frac{32{,}87}{58318536}\right)\right] = 0{,}7143 \quad \text{N/mm}^2$$