

Ersetzt Ausgabe Januar 2012

**Inhalt:**

- 1 Einleitung
- 2 Daten für den Behälter
- 3 Festigkeitsnachweis
  - 3.1 Erste Abschätzung
  - 3.2 Festigkeitsnachweis im Zylinder
  - 3.3 Festigkeitsnachweis im Schrägboden
- 4 Stabilitätsnachweise
  - 4.1 Steifen
    - 4.1.1 Lastfall Füllung
    - 4.1.2 Lastfall Überdruck
  - 4.2 Zarge
    - 4.2.1 Lastfall Füllung
    - 4.2.2 Lastfall Überdruck
    - 4.2.3 Bemessung
- 5 Verankerungen

**1 Einleitung**

Dieses Beispiel soll die Anwendung des Beiblatts 9 zur Richtlinie DVS 2205-2 erleichtern.

**2 Daten für den Behälter**

- Bauart:** Aus Platten gefertigter Zylinder und Zarge
- Geometrie:** d = 2000 mm (innen); h<sub>Ges</sub> = 5000 mm; α = 45°; 7 Steifen mit Schrägboden verschweißt
- Aufstellung:** Außenaufstellung ohne windabschirmende Auffangvorrichtung  
Windzone 2 Binnenland;  
Schneelastzone 2 bis 285 m  
q = 0,65 kN/m<sup>2</sup>  
p<sub>S</sub> = 0,68 kN/m<sup>2</sup>, T<sub>A</sub> = 100%, T<sub>AK</sub> = 35°C
- Werkstoff:** PE 100; 25 Jahre
- Füllung:** Akkusäure; T<sub>M</sub> = T<sub>M,0</sub> = 20°C; h<sub>F</sub> = 4000 mm;  
A<sub>1</sub> = A<sub>1K</sub> = A<sub>2</sub> = A<sub>2K</sub>; γ<sub>F1</sub> = 1,35; ρ<sub>F</sub> = 1,29 g/cm<sup>3</sup>
- Lüftung:** geschlossenes System; p<sub>uK</sub> = p<sub>ü</sub> = 0,01 bar;
- Öffnungen:** d<sub>A</sub> = 200 mm
- Abstand:** a = 300 mm
- Verankerung:** Pratzbreite b<sub>Pr</sub> = 70 mm

**3 Festigkeitsnachweis**

**3.1 Erste Abschätzung**

$$K_{L,d}^{Füllung} = 1,87 \cdot \gamma_{F1} \cdot \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot (h_F + r \cdot \tan \alpha_B) \cdot \frac{r}{s} \cdot A_1 \cdot A_2 \quad \text{N/mm}^2$$

und

$$K_{L,d}^{Füllung} = \gamma_{F1} \cdot \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \frac{1}{e^{A \ln(\frac{s}{d}) + B}} \quad \text{N/mm}^2$$

nach Tabelle 1 des Beiblatts 9 gilt A = 1,5201, B = 2,5455.

Die Formeln werden mit der Bedingung K<sub>L,d</sub><sup>Füllung</sup> = K<sub>L,d</sub><sup>\*</sup> = 10,2/1,3 nach s aufgelöst.

$$s_1 = \frac{1,87 \cdot \gamma_{F1} \cdot \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot (h_F + r \cdot \tan \alpha_B) \cdot r \cdot A_1 \cdot A_2}{K_{L,d}^* \cdot \gamma_M}$$

$$s_1 = \frac{1,87 \cdot 1,35 \cdot 1,29 \cdot 9,81 \cdot 10^{-6} \cdot 4087 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 1}{\frac{10,2}{1,3}} = 16,6 \text{ mm}$$

und

$$s_2 = d \cdot e^{\frac{\ln\left(\frac{\gamma_{F1} \cdot \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot h_F \cdot A_1 \cdot A_2}{K_{L,d}^*}\right) - B}{A}}$$

$$s_2 = 2000 \cdot e^{\frac{\ln\left(\frac{1,35 \cdot 1,29 \cdot 9,81 \cdot 10^{-6} \cdot 4000 \cdot 1 \cdot 1}{\frac{10,2}{1,3}}\right) - 2,5455}{1,5201}} = 16,5 \text{ mm}$$

**gewählt s = 20 mm.**

**3.2 Festigkeitsnachweis im Zylinder**

Es wird überprüft, ob s = 20 mm im Zylinder für die Summe aus Lastfall Füllung und Lastfall p<sub>ü</sub> ausreicht.

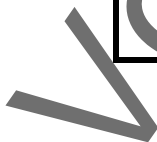
**Stelle (A), Lastfall Füllung**

$$K_{LZ,d}^{F,A} = 1,87 \cdot \gamma_{F1} \cdot \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot (h_F + r \cdot \tan \alpha_B) \cdot \frac{r}{s} \cdot A_1 \cdot A_2$$

$$K_{LZ,d}^{F,A} = 1,87 \cdot 1,35 \cdot 1,29 \cdot 9,81 \cdot 10^{-6} \cdot 4087 \cdot \frac{1000}{20} \cdot 1 \cdot 1 = 6,53 \quad \text{N/mm}^2$$

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

Nachdruck und Kopie, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers



**Stelle (A), Lastfall Überdruck**

$$K_{LZ,d}^{pü,A} = (1,87 + 0,5) \cdot \gamma_{F2} \cdot p_{\ddot{u}} \cdot \frac{r}{s} \cdot A_1 \cdot A_2$$

$$K_{LZ,d}^{pü,A} = 2,37 \cdot 1,5 \cdot 0,001 \cdot \frac{1000}{20} \cdot 1 \cdot 1 = 0,178 \text{ N/mm}^2$$

**Stelle (B), Lastfall Füllung**

$$K_{LZ,d}^{F,B} = \gamma_{F1} \cdot \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot h_F \cdot \frac{1}{e \cdot A \cdot \ln\left(\frac{s}{d}\right) + B} \cdot A_1 \cdot A_2$$

mit A = 1,5201; B = 2,5455 nach Tabelle 1 des Beiblatts 9 folgt

$$K_{LZ,d}^{F,B} = 1,35 \cdot 1,29 \cdot 9,81 \cdot 10^{-6} \cdot 4000 \cdot 86,04 \cdot 1 \cdot 1 = 5,88 \text{ N/mm}^2$$

**Stelle (B), Lastfall Überdruck**

$$K_{LZ,d}^{pü,B} = \gamma_{F2} \cdot p_{\ddot{u}} \cdot \frac{1}{e \cdot C \cdot \ln\left(\frac{s}{d}\right) + D} \cdot A_1 \cdot A_2$$

mit C = 1,3757; D = 1,6147 nach Tabelle 1 des Beiblatts 9 folgt

$$K_{LZ,d}^{pü,B} = 1,5 \cdot 0,001 \cdot 112,24 \cdot 1 \cdot 1 = 0,168 \text{ N/mm}^2$$

**Stelle (A), Ausnutzung**

$$\eta = \frac{K_{LZ,d}^{F,A} + K_{LZ,d}^{pü,A}}{K_{L,d}^*} = \frac{6,53 + 0,178}{\frac{10,2}{1,3}} = 0,85 < 1$$

**Bedingung erfüllt!**

**Stelle (B), Ausnutzung**

$$\eta = \frac{K_{LZ,d}^{F,B} + K_{LZ,d}^{pü,B}}{K_{L,d}^*} = \frac{5,88 + 0,168}{\frac{10,2}{1,3}} = 0,77 < 1$$

**Bedingung erfüllt!**

**3.3 Festigkeitsnachweis im Schrägboden**

Es wird überprüft, ob  $s = 20 \text{ mm}$  im Schrägboden für die Summe aus Lastfall Füllung und Lastfall  $p_{\ddot{u}}$  ausreicht.

**Stelle (B), Lastfall Füllung**

$$K_{LB,d}^{F,B} = \gamma_{F1} \cdot \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot h_F \cdot \frac{1}{e \cdot E \cdot \ln\left(\frac{s}{d}\right) + F} \cdot A_1 \cdot A_2$$

mit E = 1,4777; F = 2,2876 nach Tabelle 1 des Beiblatts 9 folgt

$$K_{LB,d}^{F,B} = 1,35 \cdot 1,29 \cdot 9,81 \cdot 10^{-6} \cdot 4000 \cdot 91,0 \cdot 1 \cdot 1 = 6,26 \text{ N/mm}^2$$

**Stelle (B), Lastfall Überdruck**

$$K_{LB,d}^{pü,B} = \gamma_{F2} \cdot p_{\ddot{u}} \cdot \frac{1}{e \cdot K \cdot \ln\left(\frac{s}{d}\right) + L} \cdot A_1 \cdot A_2$$

mit K = 1,4489; L = 2,1617 nach Tabelle 1 des Beiblatts 9 folgt

$$K_{LB,d}^{pü,B} = 1,5 \cdot 0,001 \cdot 110,95 \cdot 1 \cdot 1 = 0,136 \text{ N/mm}^2$$

**Stelle (C), Lastfall Füllung**

$$K_{LB,d}^{F,C} = \gamma_{F1} \cdot \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot h_F \cdot \frac{1}{e \cdot G \cdot \ln\left(\frac{s}{d}\right) + H} \cdot A_1 \cdot A_2$$

mit G = 1,4758; H = 4,2176 nach Tabelle 1 des Beiblatts 9 folgt

$$K_{LB,d}^{F,C} = 1,35 \cdot 1,29 \cdot 9,81 \cdot 10^{-6} \cdot 4000 \cdot 120,2 \cdot 1 \cdot 1 = 8,21 \text{ N/mm}^2$$

**Stelle (C), Lastfall Überdruck**

$$K_{LB,d}^{pü,C} = \gamma_{F2} \cdot p_{\ddot{u}} \cdot \frac{1}{e \cdot M \cdot \ln\left(\frac{s}{d}\right) + N} \cdot A_1 \cdot A_2$$

mit M = 1,9683; N = 4,2856 nach Tabelle 1 des Beiblatts 9 folgt

$$K_{LB,d}^{pü,C} = 1,5 \cdot 0,001 \cdot 118,96 \cdot 1 \cdot 1 = 0,178 \text{ N/mm}^2$$

**Stelle (B), Ausnutzung**

$$\eta = \frac{K_{LB,d}^{F,B} + K_{LB,d}^{pü,B}}{K_{L,d}^*} = \frac{6,26 + 0,136}{\frac{10,2}{1,3}} = 0,82 < 1$$

**Bedingung erfüllt!**

**Stelle (C), Ausnutzung**

$$\eta = \frac{K_{LB,d}^{F,C} + K_{LB,d}^{pü,C}}{K_{L,d}^*} = \frac{8,21 + 0,178}{\frac{10,2}{1,3}} = 1,07 > 1$$

**Bedingung nicht erfüllt!**

**Neue Wahl:  $s = 25 \text{ mm}$ !**

**4 Stabilitätsnachweise****4.1 Steifen****4.1.1 Lastfall Füllung**

Es wird für die Steifen und Schotte  $s_S = 15 \text{ mm}$  gewählt.

Die größte Druckbeanspruchung in den Steifen ergibt sich aus

$$\sigma_{S,d}^F = 1,15 \cdot \gamma_{F1} \cdot \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot h_F \cdot \frac{d}{s \cdot (m+1)} \cdot A_1 \cdot A_2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{S,d}^F = 1,15 \cdot 1,35 \cdot 1,29 \cdot 9,81 \cdot 10^{-6} \cdot 4000 \cdot \frac{2000}{15 \cdot (7+1)} \cdot 1 \cdot 1 = 1,31 \text{ N/mm}^2$$

**4.1.2 Lastfall Überdruck**

Die größte Druckbeanspruchung in den Steifen ergibt sich aus

$$\sigma_{S,d}^{püK} = 1,15 \cdot \gamma_{F2} \cdot p_{\ddot{u}K} \cdot \frac{d}{s \cdot (m+1)} \cdot A_1 \cdot A_2$$

$$\sigma_{S,d}^{püK} = 1,15 \cdot 1,5 \cdot 0,001 \cdot \frac{2000}{15 \cdot (7+1)} \cdot 1 \cdot 1 = 0,0288 \text{ N/mm}^2$$

Die Höhe des größten Beulfeldes im Mittelpunkt

$$h_S = a + \frac{(m+0,5)}{m+1} \cdot d \cdot \tan \alpha_B = 300 + \frac{7+0,5}{7+1} \cdot 2000 \cdot \tan 5^\circ = 464 \text{ mm}$$

Das Seitenverhältnis ist

$$\beta = \frac{h_S \cdot (m+1)}{d} = \frac{464 \cdot (7+1)}{2000} = 1,856$$

Der Bemessungswert der Beulspannung ist  $\sigma_{k,d} = \frac{k_\sigma \cdot \sigma_e}{\gamma_M} \leq K_{K,d}^*$

Mit

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 \cdot E_K^{T^\circ C}}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left[ \frac{s_S \cdot (m+1)}{d} \right]^2 = \frac{\pi^2 \cdot 613}{12 \cdot (1 - 0,38^2)} \cdot \left[ \frac{15 \cdot (7+1)}{2000} \right]^2 = 2,12 \text{ N/mm}^2$$

mit  $E_K^{T^\circ C} = 613 \text{ N/mm}^2$  für  $(T_{MK} + T_{AK})/2 = 27,5^\circ \text{C}$  und  $k_\sigma = 2,3$

$$\text{folgt } \sigma_{k,d} = \frac{2,3 \cdot 2,12}{1,3} = 3,75 \text{ N/mm}^2$$