

Beulnachweis nach DIN 18800 Teil 4 für Außendruck

(Formular Z-Beul-aussen_05-10-23.mcd)

Geometrie

Radius	$R := \frac{10m}{2}$	$R = 5000 \text{ mm}$
Wanddicke		$T := 5 \text{ mm}$
Länge		$L := 10.00 \text{ m}$

Werkstoff

E-Modul		$E := 2.1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Streckgrenze		$f_{y,k} := 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Lasten

Gleichmäßiger Außendruck bzw. innerer Unterdruck (Wind siehe weiter unten)

$$p := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 300 \text{ mm} \qquad p = 3.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Parameter

geometrische Schlankheit	$RT := \frac{R}{T}$	$RT = 1000$
Längenverhältnis	$LR := \frac{L}{R}$	$LR = 2.00$
Längenparameter (Tab. 2)	$L_{\text{quer}} := LR \cdot \sqrt{RT}$	$L_{\text{quer}} = 63$

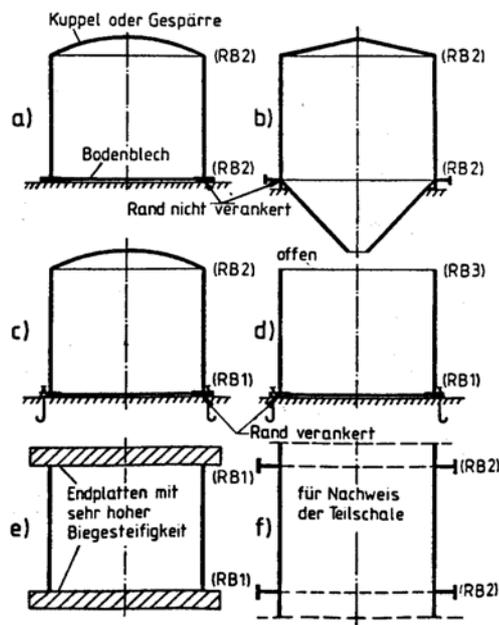


Bild 11. Konstruktive Erläuterungen und Beispiele zu den Randbedingungen

Tabelle 2. Beiwerte C_φ und C_φ^*

Fall	Kombination der Randbedingungen nach Abschnitt 4.1, Element 403	Beiwert C_φ	Beiwert C_φ^*
1	RB 1 RB 1	1,5	$1,5 + \frac{10,0}{\bar{l}^2} - \frac{5,0}{\bar{l}^3}$
2	RB 2 RB 1	1,25	$1,25 + \frac{8,0}{\bar{l}^2} - \frac{4,0}{\bar{l}^3}$
3	RB 2 RB 2	1,0	$1,0 + \frac{3,0}{\bar{l}^{1,35}}$
4	RB 3 RB 1	0,6	$0,6 + \frac{1,0}{\bar{l}^2} - \frac{0,3}{\bar{l}^3}$
5	RB 3 RB 2	In diesen Fällen darf $\sigma_{\varphi Si}$ unabhängig von der Zylinderlänge mit Gleichung (36) und $C_\varphi = 0$ bestimmt werden.	
6	RB 3 RB 3		

$$\bar{l} = \frac{l}{r} \sqrt{\frac{r}{t}}$$

Zutreffende Kombination von RB aus Tab. 2 wählen:

Fall := 2

Werte aus Tabelle 2:

Fall 1: $C_{\varphi_1} := 1.5$ $C_{\varphi.stern_1} := 1.5 + \frac{10}{L_{quer}^2} - \frac{5}{L_{quer}^3}$ $C_{\varphi.stern_1} = 1.50$

Fall 2: $C_{\varphi_2} := 1.25$ $C_{\varphi.stern_2} := 1.25 + \frac{8}{L_{quer}^2} - \frac{4}{L_{quer}^3}$ $C_{\varphi.stern_2} = 1.25$

Fall 3: $C_{\varphi_3} := 1.0$ $C_{\varphi.stern_3} := 1.0 + \frac{3}{L_{quer}^{1.35}}$ $C_{\varphi.stern_3} = 1.01$

Fall 4: $C_{\varphi_4} := 0.6$ $C_{\varphi.stern_4} := 0.6 + \frac{1}{L_{quer}^2} - \frac{0.3}{L_{quer}^3}$ $C_{\varphi.stern_4} = 0.60$

Fall 5: $C_{\varphi_5} := 0$ $C_{\varphi.stern_5} := 0$ $C_{\varphi.stern_5} = 0.00$

Fall 6: $C_{\varphi_6} := 0$ $C_{\varphi.stern_6} := 0$ $C_{\varphi.stern_6} = 0.00$

Mittellange und kurze Kreiszyylinder

Bedingung nach Gl. 33 $GL33 := 1.63 \cdot C_{\varphi_{Fall}} \cdot \sqrt{RT}$

$GL33 = 64.43$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } LR \leq GL33 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$

Ideale Beulspannung nach Gl. 34

$$\sigma_{\varphi Si, \text{mittel}} := 0.92 \cdot C_{\varphi, \text{stern}_{Fall}} \cdot \frac{E}{LR} \cdot \left(\frac{1}{RT}\right)^{1.5}$$

$$\sigma_{\varphi Si, \text{mittel}} = 3.82 \frac{N}{mm^2}$$

Zugehörige Umfangswellenzahl nach Diss. Greiner
hier zitiert nach Diss. Binder

vorausgesetzt sind "große" Umfangswellenzahlen, für die gilt $n^2 = n^2 - 1$

$$n_{Si, \text{mittel}} := 2.74 \sqrt{C_{\varphi, \text{stern}_{Fall}} \cdot \frac{1}{LR} \cdot \sqrt{RT}}$$

$$n_{Si, \text{mittel}} = 12.2$$

Lange Kreiszyylinder

Bedingung nach Gl. 35 $GL35 := 1.63 \cdot C_{\varphi_{Fall}} \cdot \sqrt{RT}$

$GL35 = 64.43$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } LR > GL35 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Bedingung} = \text{"nicht erfüllt"}$

Ideale Beulspannung nach Gl. 36

$$\sigma_{\varphi Si, \text{lang}} := E \cdot \left(\frac{1}{RT}\right)^2 \cdot \left[0.275 + 2.03 \cdot \left(\frac{C_{\varphi_{Fall}}}{LR \cdot \sqrt{\frac{1}{RT}}} \right)^4 \right]$$

$$\sigma_{\varphi Si, \text{lang}} = 65048 \frac{N}{mm^2}$$

Maßgebende Beulspannung

$$\sigma_{\varphi Si} := \text{wenn} \left(LR \leq GL33, \sigma_{\varphi Si, \text{mittel}}, \text{wenn} \left(LR > GL35, \sigma_{\varphi Si, \text{lang}}, 9999 \frac{N}{mm^2} \right) \right)$$

$\sigma_{\varphi Si} = 3.82 \frac{N}{mm^2}$

mechan. Schlankheit (Gl. 2) $\lambda := \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\sigma_{\varphi Si}}}$

$$\lambda = 7.922$$

Abminderungsfaktoren nach Gl. 7 (vgl. Elm 420)

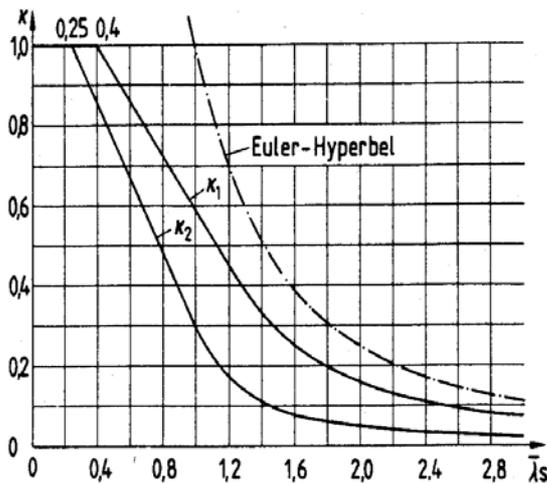


Bild 2. Abminderungsfaktoren κ (bezogene reale Beulspannungen) für Schalenbeulen (Grundbeulkurven)

$$\kappa_{1b} := 1.274 - 0.686 \cdot \lambda$$

$$\kappa_{1a} := 1$$

$$\kappa_{1b} = -4.160$$

$$\kappa_{1c} := \frac{0.65}{\lambda^2}$$

$$\kappa_{1c} = 0.010$$

$$\kappa_1 := \text{wenn}(\lambda \leq 0.40, \kappa_{1a}, \text{wenn}(\lambda \leq 1.2, \kappa_{1b}, \kappa_{1c}))$$

$$\kappa_1 = 0.010$$

Reale Beulspannung nach Gl. 5

$$\sigma_{\varphi S.R.k} := \kappa_1 \cdot f_{y.k}$$

$$\sigma_{\varphi S.R.k} = 2.49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Teilsicherheitsbeiwert nach Gl. 12

$$\gamma_M := 1.1$$

Grenzbeulspannung nach Gl. 10

$$\sigma_{\varphi S.R.d} := \frac{\sigma_{\varphi S.R.k}}{\gamma_M}$$

$$\sigma_{\varphi S.R.d} = 2.26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Ausnutzungsgrad der idealen Beulspannung (hier nur informativ)

$$\sigma_{\varphi S.k} := p \cdot RT$$

$$\sigma_{\varphi S.k} = 3.0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\eta := \frac{\sigma_{\varphi S.k}}{\sigma_{\varphi Si}}$$

$$\eta = 0.784$$

Ersatz-Windbelastung nach Elm 424

Beiwert Gl. 47 $\delta := 0.46 \cdot \left(1 + 0.1 \cdot \sqrt{C_{\varphi_{\text{Fall}}} \cdot \frac{1}{LR} \cdot \sqrt{RT}} \right)$ $\delta = 0.665$

$$\delta := \min(\delta, 1) \quad \delta = 0.665$$

Größter Druckwert im Staupunkt
aus DIN 1055, je nach Höhe der Belüftung

$$q_w := 0.80 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Gleichmäßiger Außendruck als Ersatzlast für den ungleichmäßig verteilten
Winddruck

$$q_1 := \delta \cdot q_w \quad q_1 = 0.532 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Zusätzlicher innerer Unterdruck bei offenen oder belüfteten Behältern

$$q_2 := 0.6 \cdot q_w \quad q_2 = 0.480 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Bemessungswert des Manteldruckes

Achtung: hier nur die Einwirkungen kombinieren, die gemeinsam auftreten
können

Beispiel 1:

Geschlossener Behälter mit Betriebsunterdruck und Ersatzwinddruck,
aber OHNE inneren Unterdruck aus Windsog

$$q_{1d} := 1.5 \cdot 0.9q_1 + 0.0q_2 + 1.35 \cdot p \quad q_{1d} = 4.77 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Umfangsspannung $\sigma_{1\varphi S.d} := q_{1d} \cdot RT$ $\sigma_{1\varphi S.d} = 4.77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Beulnachweis -
Ausnutzungsgrad $\eta_1 := \frac{\sigma_{1\varphi S.d}}{\sigma_{\varphi S.R.d}}$ $\eta_1 = 2.110$

Beispiel 2:

Offener Behälter mit Ersatzwinddruck und innerem Unterdruck aus Windsog
aber OHNE Betriebsunterdruck

$$q_{2d} := 1.5q_1 + 1.5q_2 + 0.0 \cdot p \quad q_{2d} = 1.52 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Umfangsspannung $\sigma_{2\varphi S.d} := q_{2d} \cdot RT$ $\sigma_{2\varphi S.d} = 1.52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Beulnachweis -
Ausnutzungsgrad $\eta_2 := \frac{\sigma_{2\varphi S.d}}{\sigma_{\varphi S.R.d}}$ $\eta_2 = 0.671$