

Schalenstabilität - Beulnachweis nach DIN 18800 Teil 4 für Außendruck

(Formular Z-Beul-aussen_07-06-28.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)

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

Parameter

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

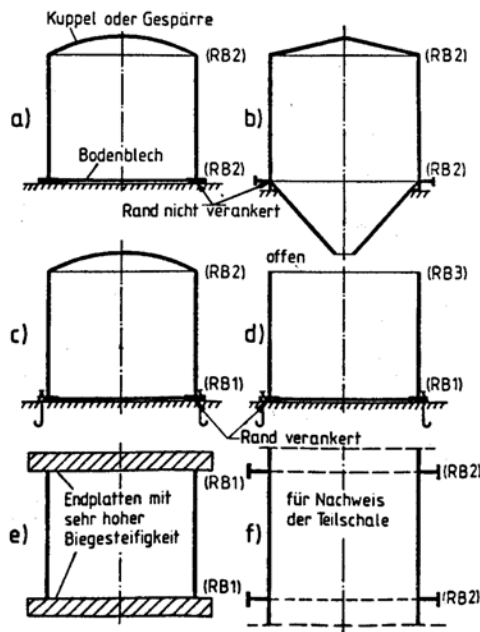


Bild 11. Konstruktive Erläuterungen und Beispiele zu den Randbedingungen

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	$1,5 + \frac{10,0}{\bar{i}^2} - \frac{5,0}{\bar{i}^3}$
2	RB 2 RB 1	1,25	$1,25 + \frac{8,0}{\bar{i}^2} - \frac{4,0}{\bar{i}^3}$
3	RB 2 RB 2	1,0	$1,0 + \frac{3,0}{\bar{i}^{1,35}}$
4	RB 3 RB 1	0,6	$0,6 + \frac{1,0}{\bar{i}^2} - \frac{0,3}{\bar{i}^3}$
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		

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

bild1

bild2

Zutreffende Kombination vo 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 $GL33 := 1.63 \cdot C_{\varphi Fall} \cdot \sqrt{\frac{R}{T}}$ $GL33 = 64.43$

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

Bedingung = "erfüllt"

Ideale Beulspannung nach Gl. 34

$$\sigma_{\varphi Si.mittel} := 0.92 \cdot C_{\varphi.stern Fall} \cdot E \cdot \frac{R}{L} \cdot \left(\frac{T}{R}\right)^{1.5}$$
 $\sigma_{\varphi Si.mittel} = 3.82 \frac{N}{mm^2}$

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

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

$$n_{Si.mittel} := 2.74 \sqrt{C_{\varphi.stern Fall} \cdot \frac{R}{L} \cdot \sqrt{\frac{R}{T}}}$$
 $n_{Si.mittel} = 12.2$

Lange Kreiszyylinder

Bedingung nach Gl. 35 $GL35 := 1.63 \cdot C_{\varphi Fall} \cdot \sqrt{\frac{R}{T}}$ $GL35 = 64.43$

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

Bedingung = "nicht erfüllt"

Ideale Beulspannung nach Gl. 36

$$\sigma_{\varphi Si.lang} := E \cdot \left(\frac{T}{R}\right)^2 \cdot \left[0.275 + 2.03 \cdot \left(\frac{C_{\varphi Fall}}{\frac{L}{R} \cdot \sqrt{\frac{T}{R}}}\right)^4 \right]$$
 $\sigma_{\varphi Si.lang} = 65048 \frac{N}{mm^2}$

Maßgebende Beulspannung

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

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

mechan. Schlankheit (Gl. 2) $\lambda := \sqrt{\frac{f_{y.k}}{\sigma_{\varphi Si}}}$ $\lambda = 7.922$

Abminderungsfaktoren nach Gl. 7 (vgl. Elm 420)

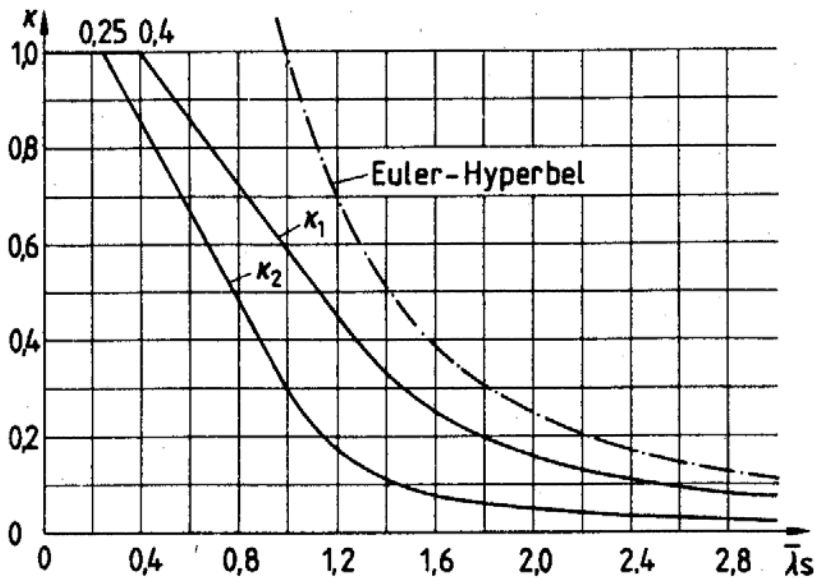


Bild 2. Abminderungsfaktoren κ (bezogene reale Beulspannungen) für Schalenbeulen (Grundbeulkurven)

$\kappa_{1a} := 1$
 $\kappa_{1b} := 1.274 - 0.686 \cdot \lambda$
 $\kappa_{1b} = -4.160$
 $\kappa_{1c} := \frac{0.65}{\lambda^2}$
 $\kappa_{1c} = 0.0104$

bild3

$\kappa_1 := \text{wenn}(\lambda \leq 0.40, \kappa_{1a}, \text{wenn}(\lambda \leq 1.2, \kappa_{1b}, \kappa_{1c}))$ $\kappa_1 = 0.0104$

Reale Beulspannung nach Gl. 5

$\sigma_{\varphi S.R.k} := \kappa_1 \cdot f_{y.k}$ $\sigma_{\varphi S.R.k} = 2.49 \frac{N}{mm^2}$

Teilsicherheitsbeiwert nach Gl. 12

$\gamma_M := 1.1$

Grenzbeulspannung nach Gl. 10

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

Ersatz-Windbelastung nach Elm 424

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

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

Größter Druckwert im Staupunkt
 aus DIN 1055, je nach Höhe der Belüftung
 hier ohne genauere Berechnung gewählt:

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

Gleichmäßiger Außendruck als Ersatzlast für den ungleichmäßig verteilten Winddruck

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

Zusätzlicher innerer Unterdruck bei offenen oder belüfteten Behältern (Elm 424)

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

Bemessungswerte der Einwirkungen

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

Beispiel 1:

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

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

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

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

$$q_{2d} := 1.5q_1 + 1.5q_2 + 0.0 \cdot p$$

$$q_{2d} = 1.52 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Umfangsspannung

$$\sigma_{\varphi S.d} := q_{2d} \cdot \frac{R}{T}$$

$$\sigma_{\varphi S.d} = 1.52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Beulnachweis -
Ausnutzungsgrad

$$\eta_2 := \frac{\sigma_{\varphi S.d}}{\sigma_{\varphi S.R.d}}$$

$$\eta_2 = 0.671$$