

Beulnachweis nach EN 1993-1-6 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung

(Formular EC3-1-6_umfang_10-01-20.xmcd)

Gleichungs- und Abschnittsnummern beziehen sich auf EC3-1-6:2007

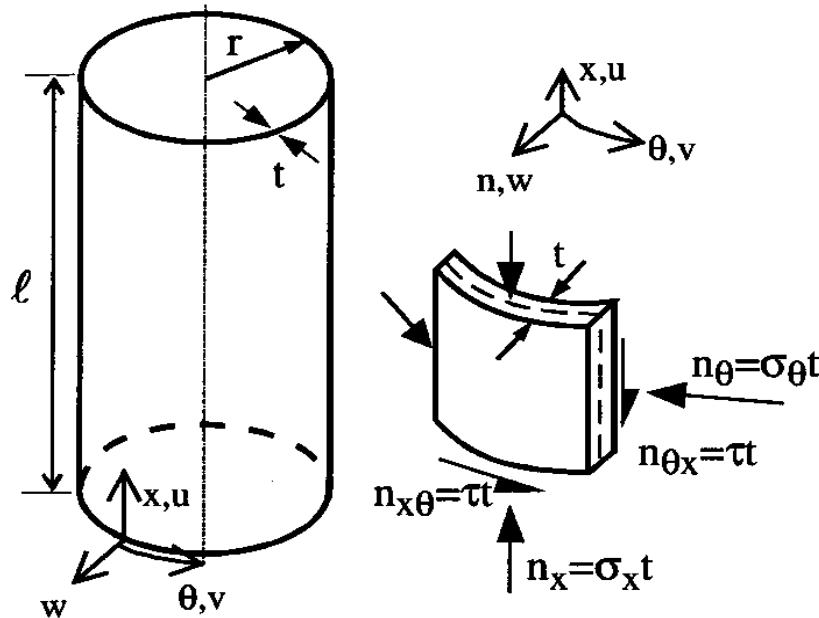


bild1

Geometrie

$$R := \frac{10.0\text{m}}{2}$$

$$R = 5000\text{mm}$$

$$T := 5\text{mm}$$

$$L := 10.0\text{m}$$

Werkstoff

$$E := 2.1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Lasten

ständiger innerer Unterdruck,
 hier als mmWS, positiv
 1 mbar entspricht 10 mmWS

$$q_s := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 50\text{mm}$$

$$q_s = 0.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Parameter

geometrische Schlankheit

$$RT := \frac{R}{T}$$

$$RT = 1000$$

Längenverhältnis

$$LR := \frac{L}{R}$$

$$LR = 2.00$$

Längenparameter (Gl. D.19)

$$\omega := \frac{L}{R} \cdot \sqrt{\frac{R}{T}}$$

$$\omega = 63$$

Erforderlichkeit des Nachweises nach Abs. D.1.3.2 (3) Gl. D.27

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"Beulsicherheitsnachweis nicht erforderlich"} & \text{if } \frac{R}{T} \leq 0.21 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \text{"Beulsicherheitsnachweis erforderlich"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "Beulsicherheitsnachweis erforderlich"

Mittellange Kreiszyylinder

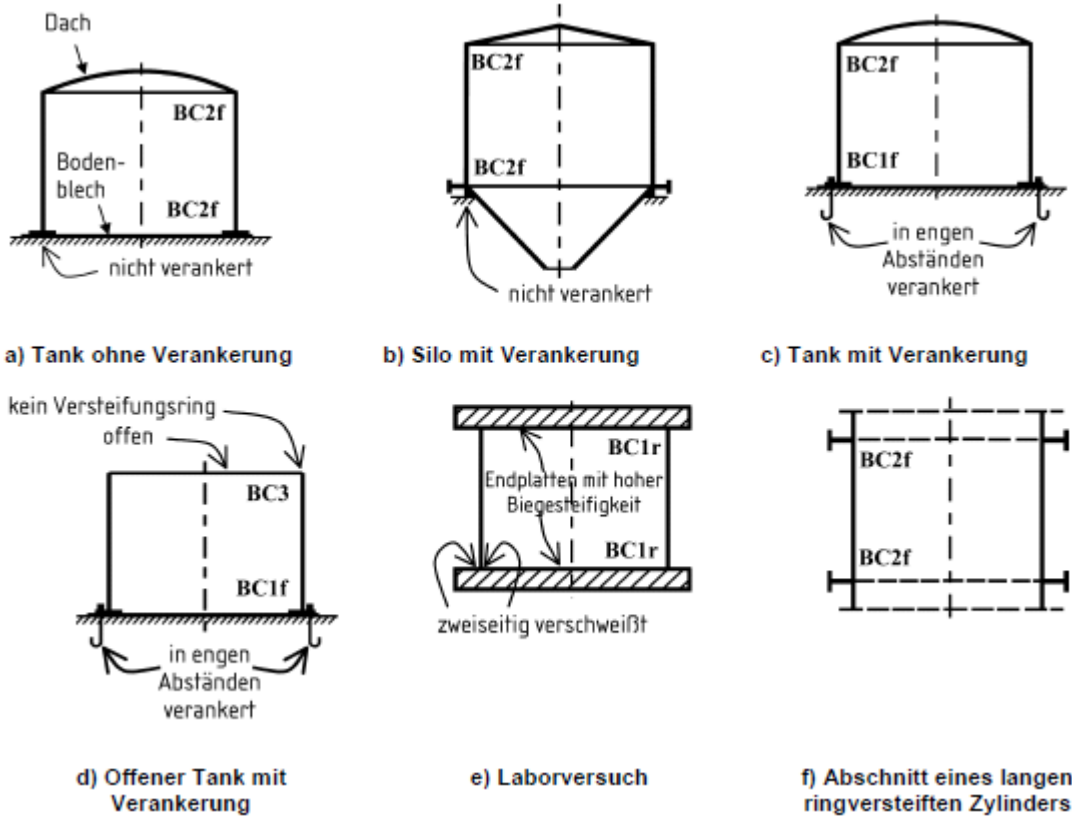


Bild 8.1 - Schematische Beispiele von Randbedingungen für den Grenzzustand LS3

Fall	Zylinderende	Randbedingung	Wert von C_θ
1	Ende 1 Ende 2	BC1 BC1	1,5
2	Ende 1 Ende 2	BC1 BC2	1,25
3	Ende 1 Ende 2	BC2 BC2	1,0
4	Ende 1 Ende 2	BC1 BC3	0,6
5	Ende 1 Ende 2	BC2 BC3	0
6	Ende 1 Ende 2	BC3 BC3	0

abgelesen:

$C_\theta := 1.00$

Tabelle D.3 - Umfangsbeulfaktoren C_θ für mittellange Zylinder

Hinweis in Anlehnung an DIN 18800-4:
 Falls $C_\theta = 0$ darf ideale Umfangsspannung unabhängig von der Länge des Zylinders nach Gleichung D.25 ermittelt werden

Bedingung nach Gl. D.20 für mittellange Zylinder:

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } 20 \leq \frac{\omega}{C_\theta} \leq 1.63 \cdot \frac{R}{T} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}}$$

Umfangsbeulspannung für mittellange Zylinder nach Gl. D.21

$$\sigma_{\theta, \text{Rcr.1}} := 0.92 \cdot E \cdot \left(\frac{C_\theta}{\omega} \right) \cdot \left(\frac{T}{R} \right) \quad \sigma_{\theta, \text{Rcr.1}} = 3.05 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Zugehörige Umfangswellenzahl nach Diss. Greiner
 hier zitiert nach Diss. Binder
 vorausgesetzt sind "große" Umfangswellenzahlen, für die gilt $n^2 = n^2 - 1$

$$n_{\text{Si.mittel}} := 2.74 \sqrt{C_\theta \cdot \frac{1}{LR} \cdot \sqrt{RT}} \quad n_{\text{Si.mittel}} = 10.9$$

Kurze Kreiszyylinder

Fall	Zylinderende	Randbedingung	$C_{\theta s}$
1	Ende 1 Ende 2	BC1 BC1	$1.5 + \frac{10}{\omega^2} - \frac{5}{\omega^3}$
2	Ende 1 Ende 2	BC1 BC2	$1.25 + \frac{8}{\omega^2} - \frac{4}{\omega^3}$
3	Ende 1 Ende 2	BC2 BC2	$1.0 + \frac{3}{\omega^{1.35}}$
4	Ende 1 Ende 2	BC1 BC3	$0.6 + \frac{1}{\omega^2} - \frac{0.3}{\omega^3}$
Mit $\omega = \frac{1}{\sqrt{rt}}$			

Tabelle D.4 - Umfangsfaktoren $C_\theta s$ für kurze Zylinder
 Achtung: Der Zähler von ω muss heißen: L wie Länge

Von der Tabelle abgelesen:

$$C_{\theta,s} := \begin{cases} 1.5 + \frac{10}{\omega^2} - \frac{5}{\omega^3} & \text{if FALL} = 1 \\ 1.25 + \frac{8}{\omega^2} - \frac{4}{\omega^3} & \text{if FALL} = 2 \\ 1.0 + \frac{3}{\omega^{1.35}} & \text{if FALL} = 3 \\ 0.6 + \frac{1}{\omega^2} - \frac{0.3}{\omega^3} & \text{if FALL} = 4 \end{cases}$$

$$\boxed{\text{FALL} := 3}$$

$$C_{\theta,s} = 1.01$$

Bedingung nach Gl. D.22 für kurze Zylinder:

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{\omega}{C_{\theta}} < 20 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

Ideale Umfangsbeulspannung nach Gl. D.23:

$$\sigma_{\theta,Rcr.2} := 0.92 \cdot E \cdot \left(\frac{C_{\theta,s}}{\omega} \right) \left(\frac{T}{R} \right)$$

$$\sigma_{\theta,Rcr.2} = 3.09 \frac{N}{mm^2}$$

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

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

$$n_{Si,mittel} := 2.74 \sqrt{C_{\theta,s} \cdot \frac{1}{LR} \cdot \sqrt{RT}}$$

$$n_{Si,mittel} = 11.0$$

Lange Kreiszyylinder

Bedingung nach Gl. D.24 für lange Kreiszyylinder:

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{\omega}{C_{\theta}} > 1.63 \cdot \frac{R}{T} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

Ideale Umfangsbeulspannung nach Gl. D.25

$$\sigma_{\theta, Rcr.3} := E \cdot \left(\frac{T}{R} \right)^2 \cdot \left[0.275 + 2.03 \cdot \left(\frac{C_{\theta}}{\omega} \cdot \frac{R}{T} \right)^4 \right] \quad \sigma_{\theta, Rcr.3} = 26644 \frac{N}{mm^2}$$

Maßgebende ideale Umfangsbeulspannung:

$$\sigma_{\theta, Rcr} := \begin{cases} \sigma_{\theta, Rcr.1} & \text{if } 20 \leq \frac{\omega}{C_{\theta}} \leq 1.63 \cdot \frac{R}{T} \\ \sigma_{\theta, Rcr.2} & \text{if } \frac{\omega}{C_{\theta}} < 20 \\ \sigma_{\theta, Rcr.3} & \text{if } \frac{\omega}{C_{\theta}} > 1.63 \cdot \frac{R}{T} \end{cases} \quad \sigma_{\theta, Rcr} = 3.05 \frac{N}{mm^2}$$

Imperfektionen

Herstelltoleranz-Qualitätsklasse	Beschreibung	α_{θ}
Klasse A	exzellent	0,75
Klasse B	hoch	0,65
Klasse C	normal	0,50

Tabelle D.5 - Elastischer Imperfektions-Abminderungsfaktor α_{θ} in Abhängigkeit von der Herstellungsqualität

gewählt: Toleranzklasse B "hoch" $\alpha_{\theta} := 0.65$

Parameter nach der Gleichung D.26:

$$\lambda_{\theta,0} := 0.40 \quad \beta := 0.6 \quad \eta := 1.0$$

Bez. Schlankheitsgrad (Gl. 8.17): $\lambda_{\theta} := \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{\theta, Rcr}}}$ $\lambda_{\theta} = 8.77$

Plastische Grenzschlankheit (Gl. 8.16):

$$\lambda_p := \sqrt{\frac{\alpha_{\theta}}{1 - \beta}} \quad \lambda_p = 1.27$$

Beul-Abminderungsfaktoren nach Gln. 8.13, 8.14 und 8.15

$$\chi_{14} := 1 - \beta \cdot \left(\frac{\lambda_{\theta} - \lambda_{\theta,0}}{\lambda_p - \lambda_{\theta,0}} \right)^{\eta}$$

$$\chi_{13} := 1$$

$$\chi_{14} = -4.742$$

$$\chi_{15} := \frac{\alpha_{\theta}}{\lambda_{\theta}^2}$$

$$\chi_{15} = 0.00845$$

Maßgebender Abminderungsfaktor

$$\chi_{\theta} := \begin{cases} \chi_{13} & \text{if } \lambda_{\theta} \leq \lambda_{\theta,0} \\ \chi_{14} & \text{if } \lambda_{\theta,0} < \lambda_{\theta} < \lambda_p \\ \chi_{15} & \text{if } \lambda_p \leq \lambda_{\theta} \end{cases}$$

$$\chi_{\theta} = 0.00845$$

Charakteristische Beulspannung nach Gl. 8.12

$$\sigma_{\theta,Rk} := \chi_{\theta} \cdot f_y$$

$$\sigma_{\theta,Rk} = 1.986 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Teilsicherheitsbeiwert nach Abs. 8.5.2 (3)

$$\gamma_M := 1.1$$

Bemessungswert der Beulspannung nach Gl. 8.11

$$\sigma_{\theta,Rd} := \frac{\sigma_{\theta,Rk}}{\gamma_M}$$

$$\sigma_{\theta,Rd} = 1.805 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Äquivalenter konstanter Außendruck für Wind nach Abs. D.1.3.2 (4)

Beiwert Gl. D.29 $k_w := 0.46 \cdot \left(1 + 0.1 \cdot \sqrt{\frac{C_{\theta} \cdot R}{\omega \cdot T}} \right)$

$$k_w := \max(\min(k_w, 1), 0.65)$$

$$k_w = 0.643$$

$$k_w = 0.650$$

Größter Druckwert im Staupunkt aus EC1-4

$$q_{w,max} := 0.80 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Gleichmäßiger Außendruck als Ersatzlast für den ungleichmäßig verteilten Winddruck

$$q_{eq} := k_w \cdot q_{w,max}$$

$$q_{eq} = 0.520 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Oben ermittelter ständiger Betriebsunterdruck $q_s = 0.500 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Hinweis:

Falls der Behälter belüftet ist, kann kein Betriebsunterdruck auftreten.

Wenn die Belüftungsöffnung im Lee liegt, kann durch "Leersaugen" im Behälter Unterdruck entstehen (siehe Abs. 5.2.3 (3)) "Windeffekte an Öffnungen und Durchdringungen".

Je nach Größe der Belüftungsöffnung und dem Behältervolumen können die Werte k_s zwischen 0 und 0,6 liegen

k_s gewählt oder aus genauerer Berechnung $k_s := 0.4$

$q_s := k_s \cdot q_{w,max}$ $q_s = 0.320 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Unterdruck gewählt: $q_s := 0.320 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Bemessungswert der Umfangsdruckspannung nach Abs. D.1.3.2 (5)

$\sigma_{\theta.Ed} := (q_{eq} + q_s) \cdot \frac{R}{T}$ $\sigma_{\theta.Ed} = 0.840 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Ausnutzungsgrad der Grenzbeulspannung

$\eta := \frac{\sigma_{\theta.Ed}}{\sigma_{\theta.Rd}}$ $\eta = 0.465$