

Inhalt:

- 1 Geltungsbereich
- 2 Konstruktion
- 3 Berechnungsgrößen
- 4 Schnittkraftermittlung für den Festigkeitsnachweis
- 5 Festigkeitsnachweis
- 6 Schnittkraftermittlung für die Stabilitätsnachweise
- 7 Stabilitätsnachweise
- 8 Bemessung
- 9 Verankerung
- 10 Anhang

1 Geltungsbereich

Die nachstehenden Konstruktions- und Berechnungsregeln gelten für stehende, zylindrische, werksgefertigte Thermoplast-Behälter mit Standzarge und durch konzentrische Ringe unterstützte Kegelböden. Zylinder, Zarge und Unterstützungsringe können entweder aus Tafeln gefertigt oder im Wickelverfahren hergestellt sein.

Für die Anwendung dieses Beiblatts müssen folgende Voraussetzungen eingehalten werden

- Der Kegelboden endet in einem Stutzen mit Krümmer und Flansch.
- Zarge und Unterstützungsringe werden zur Durchführung des Entleerungsrohrs mit jeweils einer so großen Öffnung versehen, wie es zur Montage erforderlich ist. Die Öffnungen in der Zarge und den Ringen werden mit Rohrstützen der Länge $dA/2$ verstärkt, der auf beiden Seiten mit gleichem Überstand verschweißt wird.
- Die Öffnungen in Zarge und Unterstützungsringen sind so hoch anzuordnen, dass diese auch als Auflagerung des Entleerungsrohrs dienen.
- Sollten weitere Öffnungen im Kegelboden, in der Zarge, den Unterstützungsringen oder im unteren Zylinderschuss angeordnet werden, sind diese gesondert nachzuweisen.
- Absperrventile bzw. sonstige Armaturen sind außerhalb der Zarge anzuordnen; eine Zugänglichkeit des Raumes unterhalb des Kegelbodens ist nicht vorgesehen.
- Es wird ein Behälter mit Kegelboden ohne Auffangbehälter berechnet.

2 Konstruktion

Der untere Bereich des Behälters mit Kegelboden besteht aus folgenden vier Konstruktionselementen

- unterer Zylinderschuss
- Kegelboden
- Zarge
- Unterstützungsringe

2.1 Anschluss der Zarge**2.1.1 Gelenkiger Anschluss**

Bei aus Platten gefertigten Behältern bietet es sich an, Zylinder und Zarge getrennt zu fertigen und den Boden dazwischen anzuordnen. Der untere Schuss und die Zarge werden dazu dem Winkel des Kegelbodens entsprechend angefast. Der Kegelboden wird mit einem Außendurchmesser von ca. $d + 5 \cdot s$ gefertigt. Unterer Schuss und Kegelboden werden innen und außen mit einer Extrudernaht $a \geq 0,7 \cdot s$ verbunden. Die Zarge wird mit dem Kegelboden nur von außen mit einer Extrudernaht $a \geq 0,7 \cdot s$ verbunden (gelenkiger Anschluss der Zarge).

2.1.2 Biegesteifer Anschluss

Zylinder und Zarge werden in einem Stück gefertigt. Der Kegelboden wird eingepasst und von oben und unten biegesteif mit dem Zylinder und der Zarge verschweißt (biegesteifer Anschluss der Zarge).

2.2 Unterstützungsringe

Die Unterstützungsringe werden in gleich großen Abständen konzentrisch angeordnet. Die Unterstützungsringe sind exakt abzulängen; sie werden mit dem Kegelboden verschweißt.

2.3 Unterboden

Nach Montage des Entleerungsrohrs kann ein abschließender Unterboden von außen mit der Zarge mit einer durchgehenden Extrudernaht $a \geq 0,7 \cdot s$ verschweißt werden. Wenn der Behälter nicht verankert werden muss, ist eine für den Transport geeignete Heftnaht ausreichend.

2.4 Lüftung des Raums unter dem Kegelboden

Der Raum unter dem Kegelboden muss belüftet sein, um einen Druckausgleich bei Temperaturänderungen zu ermöglichen. Dies ist gegeben, wenn das Entleerungsrohr nicht mit der Zarge verschweißt wird.

Der obere Teil des Behälters wird analog zum Flachbodenbehälter konstruiert und berechnet.

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.

3 Berechnungsgrößen

A_1	–	Abminderungsfaktor für den Einfluss der spezifischen Zähigkeit für langfristig wirkende Wandtemperatur
A_{1K}	–	Abminderungsfaktor für den Einfluss der spezifischen Zähigkeit für kurzzeitig wirkende Wandtemperatur
A_2	–	Abminderungsfaktor für das Medium bei Festigkeitsnachweisen
A_{2I}	–	Abminderungsfaktor für das Medium bei Stabilitätsnachweisen
A_R	mm^2	Querschnittsfläche des offenen Rings
d	mm	Nenninnendurchmesser von Zylinder und Zarge
$E_K^{T^\circ\text{C}}$	N/mm^2	Kurzzeit-E-Modul bei $T^\circ\text{C}$
$E_K^{20^\circ\text{C}}$	N/mm^2	Kurzzeit-E-Modul bei 20°C
$E_L^{20^\circ\text{C}}$	N/mm^2	Langzeit-E-Modul bei 20°C
f_{sK}	–	Langzeit-Schweißfaktor für eine mögliche Quernaht im Kegelboden
g	m/sec^2	Erdbeschleunigung
G_D	N	Eigenlast des Daches
G_Z	N	Eigenlast des Zylinders
G_K	N	Eigenlast des Kegelbodens
G_{Zar}	N	Eigenlast der Zarge
h_F	mm	Füllhöhe gemessen von der Spitze des Kegels
$K_{K,d}^{\text{vorh}}$	N/mm^2	Bemessungswert der Beanspruchung bei kurzzeitiger Einwirkung
$K_{L,d}^{\text{vorh}}$	N/mm^2	Bemessungswert der Beanspruchung bei langzeitiger Einwirkung
$K_R^{\text{Füllung}}$	N/mm^2	Druckbeanspruchung aus Füllung im Unterstützungsring
$K_{Zar}^{\text{Füllung}}$	N/mm^2	Druckbeanspruchung aus Füllung in der Zarge
$K_R^{p_{\bar{u}}}$	N/mm^2	Druckbeanspruchung aus $p_{\bar{u}}$ im Unterstützungsring
$K_R^{p_{\bar{u}K}}$	N/mm^2	Druckbeanspruchung aus $p_{\bar{u}K}$ im Unterstützungsring
$K_{Zar}^{p_{\bar{u}}}$	N/mm^2	Zugbeanspruchung aus $p_{\bar{u}}$ in der Zarge
$K_{Zar}^{p_{\bar{u}K}}$	N/mm^2	Zugbeanspruchung aus $p_{\bar{u}K}$ in der Zarge
M_W	Nmm	Biegemoment aus Windlast am unteren Zargenrand
n	–	Anzahl der Unterstützungsringe
$N_{R,d}^{\text{Füllung}}$	N	Bemessungswert der globalen Druckkraft aus Füllung im Unterstützungsring
$N_{R,d}^{p_{\bar{u}}}$	N	Bemessungswert der globalen Druckkraft aus $p_{\bar{u}}$ im Unterstützungsring
$N_{R,d}^{p_{\bar{u}K}}$	N	Bemessungswert der globalen Druckkraft aus $p_{\bar{u}K}$ im Unterstützungsring
$N_{Zar,d}^{\text{Füllung}}$	N	Bemessungswert der globalen Druckkraft aus Füllung in der Zarge

$N_{Zar,d}^{\text{Schnee}}$	N	Bemessungswert der globalen Druckkraft aus Schneelast in der Zarge
p_s	N/mm^2	Schneedruck auf das Dach
$p_{\bar{u}K}$	N/mm^2	kurzzeitig wirkender Unterdruck
$p_{\bar{u}K}$	N/mm^2	kurzzeitig wirkender Überdruck
$p_{\bar{u}}$	N/mm^2	langzeitig wirkender Überdruck
r	mm	Radius von Zylinder/Zarge
r_R	mm	Radius des größten Unterstützungsringes
s	mm	Wanddicke des untersten Schusses, der Zarge, des Kegelbodens und der Unterstützungsringe
s_B	mm	Wanddicke des abschließenden Unterbodens
T_A	$^\circ\text{C}$	mittlere Umgebungstemperatur (nach Miner, siehe DVS 2205-1)
T_{AK}	$^\circ\text{C}$	höchste Umgebungstemperatur
T_M	$^\circ\text{C}$	mittlere Medientemperatur (nach Miner, siehe DVS 2205-1)
T_{MK}	$^\circ\text{C}$	höchste Medientemperatur
W_R	mm^3	Widerstandsmoment des offenen Rings
z_S	mm	Schwerpunktsabstand des offenen Rings von der Zylinderachse
α	Grad	Neigungswinkel des Kegelbodens gemessen gegen die Horizontale
α_R	–	Faktor für Axialstabilität, Unterstützungsring
α_{Zar}	–	Faktor für Axialstabilität, Zarge
$\eta_{A,R}$	–	Ausnutzung der Axialstabilität im Unterstützungsring
$\eta_{A,Zar}$	–	Ausnutzung der Axialstabilität in der Zarge
γ_{F1}	–	Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung (Eigenlast, Füllung)
γ_{F2}	–	Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung (Drücke, Wind)
γ_{F3}	–	Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung (verringemde Eigenlast)
γ_I	–	Wichtungsbeiwert nach DVS 2205-2 Tabelle 2
γ_M	–	Teilsicherheitsbeiwert des Widerstands/der Beanspruchbarkeit
ρ_F	g/cm^3	Dichte des Füllmediums
$\sigma_{K,d}^{\text{vorh}}$	N/mm^2	Bemessungswert der axialen Druckspannung im Kegelboden
$\sigma_{K,d}$	N/mm^2	Bemessungswert der Beulspannung im Kegelboden
$\sigma_{K,Zar,d}$	N/mm^2	Bemessungswert der axialen Beulspannung der Zarge
$\sigma_{K,R,d}$	N/mm^2	Bemessungswert der axialen Beulspannung des größten Unterstützungsringes
$\sigma_{Zar,d}^{\text{vorh}}$	N/mm^2	Bemessungswert der axialen Spannung neben der Öffnung in der Zarge
$\sigma_{R,d}^{\text{vorh}}$	N/mm^2	Bemessungswert der axialen Spannung neben der Öffnung im Unterstützungsring

4 Schnittkraftermittlung für den Festigkeitsnachweis

Die Schnittkräfte können mit einem Rotationsschalenprogramm für dünnwandige Elemente mit linear-elastischem Ansatz ermittelt werden. Auf diese Weise ist es möglich, die Wanddicken von Zylinder, Zarge, Kegelboden und Unterstützungsringen so zu bestimmen, dass die Ausnutzung der einzelnen Elementen optimal ist, d. h. es ermöglicht eine wirtschaftliche und sichere Bemessung.

In diesem Beiblatt werden für die Handrechnung Formeln zur Verfügung gestellt. Für deren Anwendung sind folgende Einschränkungen des Geltungsbereichs zu beachten:

- Die Wanddicken des unteren Zylinderschusses, der Zarge, des Kegelbodens und der Unterstützungsringe sind identisch.
- Der Neigungswinkel des Kegelbodens wird auf 15°, 30° oder 45° beschränkt.
- Es ist mindestens ein Unterstützungsring anzuordnen; für bis zu drei Unterstützungsringe sind die Faktoren in den Tabellen 1 und 2 vorbereitet.
- Für die Füllhöhe h_F ist die Bedingung $h_F \geq r \cdot (1,5 + \tan \alpha)$ einzuhalten.
- Das Wanddicken-Radius-Verhältnis liegt innerhalb folgender Grenzen $0,04 \leq s/r \leq 0,01$.

4.1 Lastfall Füllung

Die größte Beanspruchung infolge Füllung tritt entweder im Kegelboden am Übergang zu Zylinder/Zarge, oder im Kegelboden über den Stützringen auf. Es sind daher beide Beanspruchungen zu berechnen; die größere der beiden Beanspruchungen ist maßgeblich. Die Beanspruchungen wirken in Längsrichtung; wird eine Quernaht im Kegelboden angeordnet, ist im zweiten Term der Schweißfaktor f_{sK} zu berücksichtigen.

Die folgende Formel für den Bemessungswert der größten Beanspruchung berücksichtigt die Summe der Biege- und der Normalspannungen.

$$K_{L,d}^{\text{Füllung}} = \gamma_{F1} \cdot \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \max \left[\frac{(h_F - r \cdot \tan \alpha)}{e^{A \cdot \ln(\frac{s}{d}) + B}}, \frac{h_F}{f_{sK} \cdot e^{C \cdot \ln(\frac{s}{d}) + D}} \right] \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_I \quad \text{N/mm}^2 \quad (1)$$

Tabellen 1 und 2 zeigen die Konstanten A bis D.

Anmerkung: Fehlende Werte in den Tabellen bedeuten, dass der Nachweis entfallen kann, da die Beanspruchungen geringer sind und daher die Bemessung nicht beeinflussen.

4.2 Lastfall Überdruck

Die größte Beanspruchung im Zylinder tritt entweder am Übergang zum Boden oder im Kegelboden über den Stützringen auf. Es sind daher beide Beanspruchungen zu berechnen; die größere der beiden Beanspruchungen ist maßgeblich. Die Beanspruchungen wirken in Längsrichtung; wird eine Quernaht im Kegelboden angeordnet, ist im zweiten Term der Schweißfaktor f_{sK} zu berücksichtigen.

Die folgende Formel für den Bemessungswert der größten Beanspruchung berücksichtigt die Summe der Biege- und der Normalspannungen.

$$K_{L,d}^{p\ddot{u}} = \gamma_{F2} \cdot p_{\ddot{u}} \cdot \max \left[\frac{1}{e^{E \cdot \ln(\frac{s}{d}) + F}}, \frac{1}{f_{sK} \cdot e^{G \cdot \ln(\frac{s}{d}) + H}} \right] \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_I \quad \text{N/mm}^2 \quad (2)$$

$K_{K,d}^{p\ddot{u}K}$ wird analog berechnet, mit $p_{\ddot{u}K}$ als Wert für den Druck.

Tabellen 1 und 2 zeigen die Konstanten E bis H.

5 Festigkeitsnachweis

Der Festigkeitsnachweis wird mit den in Abschnitt 4 beschriebenen Beanspruchungen in der in DVS 2205-2 aufgezeigten Weise geführt. Als wirksame Wandtemperatur im Zylinder und im Kegelboden ist die mittlere Medientemperatur T_M bzw. bei kurzzeitiger Einwirkung die höchste Medientemperatur T_{MK} anzusetzen. Die wirksame Wandtemperatur der Unterstützungsringe errechnet sich aus $(T_M + T_A)/2$ bzw. $(T_{MK} + T_{AK})/2$, wobei für T_A und T_{AK} bei Innenaufstellung mindestens 20°C und bei Außenaufstellung für T_A mindestens 10°C und T_{AK} mindestens 35°C anzusetzen ist.

6 Schnittkraftermittlung für die Stabilitätsnachweise

Für Zarge und Unterstützungsringe, die die gesamte Fülllast tragen, ist die Axialstabilität nachzuweisen

6.1 Lastfall Füllung

6.1.1 Unterstützungsringe

Die größte Druckbeanspruchung in den Unterstützungsringen ergibt sich aus

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

Tabellen 1 und 2 zeigen die Konstanten K und L.

6.1.2 Zarge

Die größte Druckbeanspruchung in der Zarge ergibt sich aus

$$K_{Zar}^{\text{Füllung}} = \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot \left(h_F - \frac{2}{3} \cdot r \cdot \tan \alpha \right) \cdot \frac{1}{e^{M \cdot \ln(\frac{s}{d}) + N}} \quad \text{N/mm}^2 \quad (4)$$

Tabellen 1 und 2 zeigen die Konstanten M und N.

6.2 Lastfall Überdruck

6.2.1 Unterstützungsringe

Die größte Druckbeanspruchung in den Unterstützungsringen ergibt sich aus

$$K_R^{p\ddot{u}K} = p_{\ddot{u}K} \cdot \frac{1}{e^{P \cdot \ln(\frac{s}{d}) + Q}} \quad \text{N/mm}^2 \quad (5)$$

$K_R^{p\ddot{u}}$ wird analog berechnet, mit $p_{\ddot{u}}$ als Wert für den Druck.

Tabellen 1 und 2 zeigen die Konstanten P und Q.

6.2.2 Zarge

Die größte Zugbeanspruchung in der Zarge ergibt sich aus

$$K_{Zar}^{p\ddot{u}K} = p_{\ddot{u}K} \cdot \frac{1}{e^{U \cdot \ln(\frac{s}{d}) + V}} \quad \text{N/mm}^2 \quad (6)$$

$K_{Zar}^{p\ddot{u}}$ wird analog berechnet, mit $p_{\ddot{u}}$ als Wert für den Druck.

Tabellen 1 und 2 zeigen die Konstanten U und V.

7 Stabilitätsnachweise

Es ist der Bemessungswert der axialen Druckbeanspruchung neben der Öffnung mit dem Bemessungswert der Beulspannung zu vergleichen. Beulen ist ein kurzzeitiger Vorgang, der Nachweis ist mit den Wandtemperaturen, die sich mit T_{MK} und T_{AK} durch Mittelung der benachbarten Lufttemperaturen ergeben, zu führen. Als wirksame Wandtemperatur ist für den Nachweis der Zarge bei Innenaufstellung $(3 \cdot T_{AK} + T_{MK})/4$ und bei Außenaufstellung 50°C anzusetzen.