

Ersetzt Ausgabe Januar 2012

Dieses Beiblatt 9 zur Richtlinie DVS 2205-2 wurde von der DVS-AG W4.3b (Konstruktive Gestaltung/Apparatebau) zusammen mit dem Sachverständigenausschuss des Deutschen Instituts für Bautechnik „Kunststoffbehälter und -rohre“ (Projektgruppe „Berechnung“) erarbeitet.

Inhalt:

- 1 Geltungsbereich
- 2 Konstruktion
 - 2.1 Anschluss der Zarge
 - 2.1.1 Gelenkiger Anschluss
 - 2.1.2 Biegesteifer Anschluss
 - 2.2 Steifen
 - 2.3 Unterboden
 - 2.4 Lüftung des Raums unter dem Schrägboden
- 3 Berechnungsgrößen
- 4 Schnittkraftermittlung für den Festigkeitsnachweis
 - 4.1 Zylinder
 - 4.1.1 Lastfall Füllung
 - 4.1.2 Lastfall Überdruck
 - 4.2 Schrägboden
 - 4.2.1 Lastfall Füllung
 - 4.2.2 Lastfall Überdruck
- 5 Festigkeitsnachweis
- 6 Schnittkraftermittlung für die Stabilitätsnachweise
 - 6.1 Lastfall Füllung
 - 6.1.1 Steifen
 - 6.1.2 Zarge
 - 6.2 Lastfall Überdruck
 - 6.2.1 Steifen
 - 6.2.2 Zarge
- 7 Stabilitätsnachweise
 - 7.1 Steifen
 - 7.2 Zarge
- 8 Bemessung
- 9 Verankerungen
- 10 Konstruktive Details
- 11 Schrifttum

1 Geltungsbereich

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

Für die Anwendung dieses Beiblatts müssen folgende Voraussetzungen eingehalten werden:

- Die Steifen werden parallel zur Neigungsrichtung des Schrägbodens angeordnet (trapezförmige Steifen).
- Zur Restentleerung ist eine Öffnung im Schrägboden – mit Krümmer durch die Zarge geführt – vorgesehen. Die mittlere Steife ist hierzu mittels einer Quersteife an beiden Seiten der Öffnung vorbeizuführen. Die Öffnung in der Zarge wird mit

einem Rohrstützen mindestens der Länge $d_A/2$ verstärkt, der auf beiden Seiten mit gleichem Überstand verschweißt wird. Sind die beiden Wechselsteifen mit der Zarge verschweißt, kann der Rohrstützen entfallen.

- Absperrventile bzw. sonstige Armaturen sind außerhalb der Zarge anzuordnen; eine Zugänglichkeit des Raumes unterhalb des Schrägbodens ist nicht gegeben.

- Es wird ein Behälter mit Schrägboden ohne Auffangbehälter berechnet.

2 Konstruktion

Der untere Bereich des Behälters mit Schrägboden besteht aus folgenden vier Konstruktionselementen:

- unterer Zylinderschuss,
- Schrägboden,
- Zarge,
- Steifen, durch Schotte gestützt.

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 Schrägbodens entsprechend angefast. Der Schrägboden wird mit einem Außendurchmesser von ca. $d + 5 \cdot s$ gefertigt. Unterer Schuss und Schrägboden werden innen und außen mit einer Extrudernaht $a \geq 0,7 \cdot s$ verbunden. Die Zarge wird mit dem Schrägboden 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 Schrägboden wird eingepasst und von oben und unten biegesteif mit dem Zylinder und der Zarge verschweißt (biegesteifer Anschluss der Zarge).

2.2 Steifen

Die Steifen werden in äquidistanten Abständen parallel zueinander angeordnet. Die Steifen sind exakt zuzuschneiden; sie können – müssen aber nicht – mit dem Schrägboden verschweißt werden. Die Steifen werden durch Schotte gestützt, die zueinander den gleichen Abstand wie die Steifen haben. Schotte und Steifen sind miteinander zu verschweißen. Die Enden der Steifen sind gegen seitliches Ausweichen zu sichern; dies kann entweder durch Anschweißen an die Zarge, oder mittels zusätzlicher Schotte geschehen.

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.

2.3 Unterboden

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

2.4 Lüftung des Raums unter dem Schrägboden

Der Raum unter dem Schrägboden 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.

3 Berechnungsgrößen

a mm Abstand zwischen Schrägboden und Unterboden am tiefsten Punkt

A_1 – Abminderungsfaktor für den Einfluss der spezifischen Zähigkeit

A_2 – Abminderungsfaktor für das Medium bei Festigkeitsnachweisen

A_{2I} – Abminderungsfaktor für das Medium bei Stabilitätsnachweisen

A_R mm² Querschnittsfläche des offenen Rings

b_{Pr} mm Breite der Ankerpratze

d mm Nenninnendurchmesser von Zylinder und Zarge

$E_K^{T^\circ C}$ N/mm² Kurzzeit-E-Modul bei T°C

$E_K^{20^\circ C}$ N/mm² Kurzzeit-E-Modul bei 20°C

$E_L^{20^\circ C}$ N/mm² Langzeit-E-Modul bei 20°C

g m/sec² Erdbeschleunigung

G_A N Eigenlast des Zusatzgewichts auf dem Dach

G_D N Eigenlast des Daches

G_{ges} N Eigenlast des Behälters ohne G_A

G_Z N Eigenlast des Zylinders

G_B N Eigenlast des Schrägbodens

G_{Zar} N Eigenlast der Zarge

h_F mm Füllhöhe gemessen vom tiefsten Punkt des Schrägbodens

h_S mm mittlere Höhe des höchsten Beulfeldes der Steifen

h_{Zar} mm maximale Höhe der Zarge

k_f – Konzentrationsfaktor nach [5]

$K_{LZ,d}^{F,A}$ N/mm² Bemessungswert der Beanspruchung bei langzeitiger Einwirkung im Zylinder aus Lastfall Füllung an der Stelle (A)

$K_{LZ,d}^{F,B}$ N/mm² Bemessungswert der Beanspruchung bei langzeitiger Einwirkung im Zylinder aus Lastfall Füllung an der Stelle (B)

$K_{LZ,d}^{pü,A}$ N/mm² Bemessungswert der Beanspruchung bei langzeitiger Einwirkung im Zylinder aus Lastfall Überdruck an der Stelle (A)

$K_{LZ,d}^{pü,B}$ N/mm² Bemessungswert der Beanspruchung bei langzeitiger Einwirkung im Zylinder aus Lastfall Überdruck an der Stelle (B)

$K_{KZ,d}^{pük,A}$ N/mm² Bemessungswert der Beanspruchung bei kurzzeitiger Einwirkung im Zylinder aus Lastfall Überdruck an der Stelle (A)

$K_{KZ,d}^{pük,B}$ N/mm² Bemessungswert der Beanspruchung bei kurzzeitiger Einwirkung im Zylinder aus Lastfall Überdruck an der Stelle (B)

$K_{LB,d}^F$ N/mm² Bemessungswert der Beanspruchung bei langzeitiger Einwirkung im Schrägboden aus Lastfall Füllung

$K_{LB,d}^{pü}$ N/mm² Bemessungswert der Beanspruchung bei langzeitiger Einwirkung im Schrägboden aus Lastfall Überdruck

$K_{KB,d}^{pük}$ N/mm² Bemessungswert der Beanspruchung bei kurzzeitiger Einwirkung im Schrägboden aus Lastfall Überdruck

$K_{K,d}^*$ N/mm² Bemessungswert der Festigkeit bei kurzzeitiger Einwirkung

$K_{Zar}^{pü}$ N/mm² Zugbeanspruchung aus $p_{ü}$ in der Zarge

$K_{Zar}^{pük}$ N/mm² Zugbeanspruchung aus $p_{üK}$ in der Zarge

M_W Nmm Biegemoment aus Windlast am unteren Zargenrand

m – Anzahl der Steifen

n – Anzahl der Ringe am Ersatzbehälter

$N_{R,d}^{Füllung}$ N Bemessungswert der globalen Druckkraft aus Füllung im Unterstützungsring

$N_{Zar,d}^{Füllung}$ N Bemessungswert der globalen Druckkraft aus Füllung in der Zarge

$N_{Zar,d}^{Schnee}$ N Bemessungswert der globalen Druckkraft aus Schneelast in der Zarge

p_s N/mm² Schneedruck auf das Dach

p_{uK} N/mm² kurzzeitig wirkender Unterdruck

$p_{üK}$ N/mm² kurzzeitig wirkender Überdruck

$p_{ü}$ N/mm² langfristig wirkender Überdruck

r mm Radius von Zylinder/Zarge

s mm Wanddicke des untersten Schusses, der Zarge und des Schrägbodens

s_B mm Wanddicke des Unterbodens

s_S mm Wanddicke der Steifen und Schotte

T_A °C mittlere Umgebungstemperatur (nach Miner, siehe Richtlinie DVS 2205-1)

T_{AK} °C höchste Umgebungstemperatur

T_M °C mittlere Medientemperatur (nach Miner, siehe Richtlinie DVS 2205-1)

T_{MK} °C höchste Medientemperatur

T_{Zar}^{Design} °C max. Berechnungstemperatur für die Zarge

W_R mm³ Widerstandsmoment des offenen Rings

z_S mm Schwerpunktsabstand des offenen Rings von der Zylinderachse

α Grad Neigungswinkel des Schrägbodens gemessen gegen die Horizontale

α_{Zar} – Faktor für Axialstabilität, Zarge

β – Seitenverhältnis des Beulfeldes

$\eta_{A,S}$ – Ausnutzung der Axialstabilität in Steife

$\eta_{A,Zar}$ – 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 (verringerte Eigenlast)

γ_M – Teilsicherheitsbeiwert des Widerstands/der Beanspruchbarkeit

μ – Querdehnungszahl

ρ_F	g/cm ³	Dichte des Füllmediums
σ_e	N/mm ²	Beulspannung in Steife
$\sigma_{k,d}$	N/mm ²	Bemessungswert der Beulspannung in Steife
$\sigma_{k,Zar,d}$	N/mm ²	Bemessungswert der axialen Beulspannung der Zarge
$\sigma_{S,d}^F$	N/mm ²	Bemessungswert der Druckbeanspruchung der Steife, Lastfall Füllung
$\sigma_{S,d}^{pük}$	N/mm ²	Bemessungswert der Druckbeanspruchung der Steife, Lastfall Überdruck
$\sigma_{Zar,d}^F$	N/mm ²	Bemessungswert der Druckbeanspruchung der Zarge, Lastfall Füllung
$\sigma_{Zar,d}^{vorh}$	N/mm ²	Bemessungswert der Druckbeanspruchung der Zarge

4 Schnittkraftermittlung für den Festigkeitsnachweis

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

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

- Die Wanddicken des unteren Zylinderschusses, der Zarge und des Schrägbodens sind identisch.
- Der Neigungswinkel des Schrägbodens wird auf maximal 10 Grad beschränkt.
- Es sind 3, 5 oder 7 Steifen anzuordnen.
- Das Wanddicken-Radius-Verhältnis liegt innerhalb folgender Grenzen $0,04 \geq s/r \geq 0,01$.
- Nur die Steifen haben Kontakt zum Schrägboden.
- Eventuelle Schweißnähte im Schrägboden werden quer zu den Steifen angeordnet.

4.1 Zylinder

Zwei Stellen müssen betrachtet werden:

Stelle **(A)** Zylinderwand senkrecht zur mittleren Steife, Boden durch Steife unterstützt.

Um die größte Beanspruchung im Zylinder zu berechnen, wird angenommen, dass die Steife mit der Zarge verschweißt ist. So kann sich der untere Rand des Zylinders nicht verdrehen; dies bedeutet, der Zylinder ist als voll eingespannt zu berechnen.

Stelle **(B)** Zylinderwand parallel zu den Steifen, Boden bis zur äußeren Steife ungestützt.

Die Beanspruchung des Zylinders wird ersatzweise an einem fiktiven Behälter mit ringgestütztem Flachboden berechnet. Für m Steifen werden $n = (m-1)/2$ Ringe angesetzt.

4.1.1 Lastfall Füllung

4.1.1.1 Stelle **(A)**

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

4.1.1.2 Stelle **(B)**

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

Tabellen 1 und 2 zeigen die Konstanten A und B.

4.1.2 Lastfall Überdruck

4.1.2.1 Stelle **(A)**

$$K_{LZ,d}^{pü,A} = (1,87 + 0,5) \cdot \gamma_{F2} \cdot p_{ü} \cdot \frac{r}{s} \cdot A_1 \cdot A_2 \quad \text{N/mm}^2 \quad (3)$$

$$K_{KZ,d}^{püK,A} \text{ analog mit } p_{üK}$$

4.1.2.2 Stelle **(B)**

$$K_{LZ,d}^{pü,B} = \gamma_{F2} \cdot p_{ü} \cdot \frac{1}{e^{C \cdot \ln(\frac{s}{d}) + D}} \cdot A_1 \cdot A_2 \quad \text{N/mm}^2 \quad (4)$$

$$K_{KZ,d}^{püK,B} \text{ analog mit } p_{üK}$$

Tabellen 1 und 2 zeigen die Konstanten C und D.

4.2 Schrägboden

Zwei Stellen müssen betrachtet werden:

Stelle **(B)** Zylinderwand parallel zu den Steifen, Boden bis zur Steife ungestützt.

Die Beanspruchung des Schrägbodens (Feldmoment) wird ersatzweise an einem fiktiven Behälter mit ringgestütztem Flachboden berechnet. Für m Steifen werden $n = (m-1)/2$ Ringe angesetzt.

Stelle **(C)** Schrägboden über der äußeren Steife (Stützmoment) wird auch an einem fiktiven Behälter mit ringgestütztem Flachboden berechnet. Vergleichsberechnungen an einem fiktiven Durchlaufräger ergaben geringere Beanspruchungen.

4.2.1 Lastfall Füllung

Die größte Beanspruchung infolge Füllung tritt entweder im Schrägboden am Übergang zu Zylinder/Zarge, oder im Schrägboden über den Steifen auf. Es sind daher beide Beanspruchungen zu berechnen; die größere der beiden Beanspruchungen ist maßgeblich. Die Beanspruchungen wirken parallel zur eventuellen Schweißnaht im Boden, ein Schweißfaktor muss nicht angesetzt werden.

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

$$K_{LB,d}^F = \gamma_{F1} \cdot \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6} \cdot h_F \cdot \max \left[\frac{1}{e^{E \cdot \ln(\frac{s}{d}) + F}}, \frac{1}{e^{G \cdot \ln(\frac{s}{d}) + H}} \right] \cdot A_1 \cdot A_2 \quad \text{N/mm}^2 \quad (5)$$

Tabellen 1 und 2 zeigen die Konstanten E bis H.

4.2.2 Lastfall Überdruck

Die größte Beanspruchung im Zylinder tritt entweder am Übergang zum Boden oder im Schrägboden über den Steifen auf. Es sind daher beide Beanspruchungen zu berechnen; die größere der beiden Beanspruchungen ist maßgeblich. Die Beanspruchungen wirken parallel zur Schweißnaht im Boden, ein Schweißfaktor muss nicht angesetzt werden.

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

$$K_{LB,d}^{pü} = \gamma_{F2} \cdot p_{ü} \cdot \max \left[\frac{1}{e^{K \cdot \ln(\frac{s}{d}) + L}}, \frac{1}{e^{M \cdot \ln(\frac{s}{d}) + N}} \right] \cdot A_1 \cdot A_2 \quad \text{N/mm}^2 \quad (6)$$

$$K_{KB,d}^{püK} \text{ analog mit } p_{üK}$$

Tabellen 1 und 2 zeigen die Konstanten K bis N.