

Ersetzt Ausgabe Februar 2013

Dieses Beiblatt 5 zur Richtlinie DVS 2205-2 wurde von der DVS-AG W4.3b (Konstruktive Gestaltung/Apparatebau) erarbeitet.

Inhalt:

- 1 Geltungsbereich
- 2 Konstruktion
- 3 Berechnungsgrößen
- 4 Behälterbeschleunigung
 - 4.1 Horizontale Behälterbeschleunigung
 - 4.2 Schwingungsdauer für die Horizontalschwingung
 - 4.3 Vertikale Behälterbeschleunigung
 - 4.4 Schwingungsdauer für die Vertikalschwingung
- 5 Beanspruchungen
 - 5.1 Aus horizontaler Behälterbeschleunigung
 - 5.2 Aus vertikaler Behälterbeschleunigung
- 6 Nachweise
- 7 Nachweisführung
- 8 Bemessung des Standzargenbehälters
 - 8.1 Axialstabilität des Zylinders
 - 8.2 Axialstabilität der Zarge
 - 8.3 Axialstabilität neben Stützen im Zylinder
 - 8.4 Axialstabilität neben Stützen in der Zarge
 - 8.5 Axialstabilität der Unterstützungsringe
 - 8.6 Beulstabilität der Steifen
 - 8.7 Verankerung
- 9 Schrifttum

1 Geltungsbereich

Die nachstehenden Konstruktions- und Berechnungsregeln gelten für stehende, zylindrische, werkstoffgefertigte Standzargenbehälter aus Thermoplasten mit Kegel- oder Schrägboden für die Aufstellung in einem deutschen Erdbebengebiet.

Für die Anwendung dieses Beiblatts müssen folgende Voraussetzungen eingehalten werden:

- Der Behälter kann innerhalb oder außerhalb von Gebäuden aufgestellt werden. Sein Fundament muss direkten Kontakt zum Erdboden haben. Bei Aufstellung auf Gebäudedecken, Bühnen oder Ähnlichem sind gesonderte Nachweise erforderlich, die das Schwingungsverhalten des gesamten Systems berücksichtigen.
- Eine Dimensionierung des Behälters erfolgt parallel nach der Richtlinie DVS 2205-2 mit den Beiblättern 3 und 7 bzw. 9.
- Die Ausführung des Behälters entspricht der Richtlinie DVS 2205-2 mit den Beiblättern 3 und 7 bzw. 9.

2 Konstruktion

Standzargenbehälter werden stets ohne Auffangbehälter aufgestellt.

Die in diesem Beiblatt behandelten Standzargenbehälter werden direkt am Fundament verankert, um sie so gegen Verschieben und Kippen infolge der horizontalen Erdbebenkräfte zu sichern.

3 Berechnungsgrößen

a	mm	kleinster Freiraum unter dem Schrägboden
a_g	m/s ²	Bodenbeschleunigung
a_h	m/s ²	horizontale Beschleunigung des Behälters
a_v	m/s ²	vertikale Beschleunigung des Behälters
A_1	–	Abminderungsfaktor für den Einfluss der spezifischen Zähigkeit
A_{2l}	–	Abminderungsfaktor für das Medium bei Stabilitätsnachweisen
A_R	mm ²	Querschnittsfläche des offenen Ringquerschnitts
A_S	mm ²	Schubfläche des Ersatzbalkens
b_{Dp}	mm	Breite der Distanzplatte ($b_{Pr} \leq b_{Dp} \leq 1,5 \cdot b_{Pr}$)
b_{Pr}	mm	Breite der Ankerpratze
d	mm	Innendurchmesser des Zylinders
$d_{A,j}$	mm	Außendurchmesser des Stützens j
$d_{A,ZarS}$	mm	Außendurchmesser des Stützens in der Zarge
$E_K^{T^\circ C}$	N/mm ²	Kurzzeit-E-Modul bei T°C
$E_K^{20^\circ C}$	N/mm ²	Kurzzeit-E-Modul bei 20°C
$E_L^{20^\circ C}$	N/mm ²	Langzeit-E-Modul bei 20°C
e_i	–	Exzentrizität des Schusswanddicken
$f_{\alpha,i}$	–	Abminderungsfaktor für Exzentrizität
g	m/sec ²	Erdbeschleunigung
G_A	N	Eigenlast des Zusatzgewichts auf dem Dach
G_B	N	Eigenlast des Bodens
G_{ges}	N	Eigenlast des Standzargenbehälters
$G_K^{T^\circ C}$	N/mm ²	Schubmodul bei kurzzeitiger Beanspruchung für T°C
G_Z	N	Eigenlast des Zylinders des Behälters
h	mm	Höhe des Ersatzbalkens für die Berücksichtigung von Dachlasten

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.

$H_{Düb}$	N	Bemessungswert der horizontalen Dübelkraft	T_{MK}	°C	höchste Medientemperatur
H_{Erd}	N	gesamte Horizontalkraft aus Erdbeben	$T_{Schub,MK}$	s	Schwingungsdauer eines masselosen, einseitig eingespannten Schubalkens mit Kopfmasse
H_F	N	horizontale Massenkraft aus Füllung			
h_F	mm	Füllhöhe	T_v	s	Schwingungsdauer der vertikalen Schwingung
h_F^*	mm	Höhe des Ersatzbalkens	W	mm ³	Widerstandsmoment der mit Steifen ausgefachten Zarge zur Ermittlung der Druckbeanspruchung des höchsten Beulfeldes der Steifen
h_g	mm	Gesamthöhe des Behälters	W_R	mm ³	Widerstandsmoment des offenen Ringquerschnitts
H_{GA}	N	horizontale Massenkraft aus G_A	x	mm	Höhe des betrachteten Schnitts über dem Fundament
h_R	mm	Höhe des größten Unterstüztungsringes	z	–	Anzahl der Anker
h_S	mm	Höhe des Beulfeldes	z_S	mm	Schwerpunktsabstand des offenen Rings von der Zylinderachse
h_{Zar}	mm	Höhe der Zarge	α_B	Grad	Neigungswinkel des Bodens
h_{Zar}^{max}	mm	größte Höhe der Zarge	α_i	–	Faktor für Axialstabilität, Schuss i
I	mm ⁴	Trägheitsmoment des Ersatzbalkens	α_j	–	Faktor für Axialstabilität, Stützen j im Zylinder
$K_{K,d}^{vorn}$	N/mm ²	Bemessungswert der Beanspruchung bei kurzzeitiger Einwirkung	α_R	–	Faktor für Axialstabilität, Unterstüztungsring
$K_{K,d}^*$	N/mm ²	Bemessungswert der Zeitstandfestigkeit bei 10 ⁻¹ Stunden	α_{Zar}	–	Faktor für Axialstabilität, Zarge
$K_R^{Füllung}$	N/mm ²	Druckspannung im Unterstüztungsring aus Füllung	α_{ZarS}	–	Faktor für Axialstabilität, Stützen in der Zarge
$K_{Zar}^{Füllung}$	N/mm ²	Druckspannung in der Zarge aus Füllung	β	–	Seitenverhältnis des Beulfeldes
k_σ	–	Hilfsgröße	β_0	–	Verstärkungsbeiwert der Spektrenbeschleunigung
$M_{Erd}(x)$	Nmm	Erdbebenmoment in Höhe x für Standzargenbehälter	η	–	Dämpfungs-Korrekturbeiwert
$M_{Erd,i}$	Nmm	Erdbebenmoment am unteren Rand des Schusses i des Standzargenbehälters	$\eta_{A,i}$	–	Ausnutzung der Axialstabilität im Schuss i
$M_{Erd,j}$	Nmm	Erdbebenmoment in Höhe des Stützens j	$\eta_{A,j}$	–	Ausnutzung der Axialstabilität neben Stützen j
m	–	Anzahl der Steifen	$\eta_{A,R}$	–	Ausnutzung der Axialstabilität im Ring
m_K	kNs ² /m	Masse der Dachlast	$\eta_{A,S}$	–	Ausnutzung der Beulstabilität in den Steifen
$N_{Erd,j,d}$	N	Bemessungswert der globalen Normalkraft in Höhe des Stützens j aus vertikaler Beschleunigung	$\eta_{A,Zar}$	–	Ausnutzung der Axialstabilität in der Zarge
$N_{j,d}$	N	Bemessungswert der globalen Normalkraft in Höhe des Stützens j	η_H	–	Ausnutzung des Nachweises der Pressung zwischen Distanz- und Bodenplatte
p_u	N/mm ²	langzeitig wirkender Unterdruck	γ_{F1}	–	Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung (Eigenlast, Füllung)
$p_{\bar{u}}$	N/mm ²	langzeitig wirkender Überdruck	γ_{F2}	–	Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung (Drücke, Wind)
$p_{\bar{u}K}$	N/mm ²	kurzzeitiger Überdruck	γ_{F3}	–	Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung (verringerte Eigenlast)
q	–	Verhaltensbeiwert	γ_{F4}	–	Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung (Erdbeben)
r	mm	Zylinderradius des Behälters	γ_{IE}	–	Bedeutungsbeiwert nach DIN 4149 Tabelle 3 (dort γ_I genannt)
r_R	mm	Radius des größten Unterstüztungsringes	γ_M	–	Teilsicherheitsbeiwert des Widerstands / der Beanspruchbarkeit
S	–	Untergrundparameter	λ	–	Reduktionsfaktor für Schwappen
s	mm	Wanddicke des Bodens, des untersten Zylinderschusses, der Ringe und der Zarge	ω	1/s	Kreisfrequenz
s_1	mm	Wanddicke des obersten Schusses	ρ_F	g/cm ³	Dichte des Füllmediums
$s_{1/3}$	mm	Wanddicke des Zylinders im unteren Drittelpunkt des Ersatzbalkens	σ_e	N/mm ²	Beulspannung in Steife
s_B	mm	Wanddicke des Behälterbodens	$\sigma_{G,i}$	N/mm ²	Beanspruchung im Zylinder aus Eigengewicht am unteren Rand des Schusses i; enthält auch Dachlasten einschließlich der Spannungskonzentration [4]
s_j	mm	Wanddicke des Zylinders in Höhe des Stützens j	$\sigma_{G,j}$	N/mm ²	Beanspruchung im Zylinder aus Eigengewicht in Höhe des Stützens j
s_{uB}	mm	Wanddicke des Unterbodens	$\sigma_{G,Zar}$	N/mm ²	Druckspannung aus Eigengewicht in der Zarge
$s_{Z,i}$	mm	Wanddicke des Zylinderschusses i	$\sigma_{i,d}^{vorn}$	N/mm ²	Bemessungswert der vorhandenen Beanspruchung am unteren Rand des Schusses i
T_A	°C	mittlere Umgebungstemperatur (nach Miner, siehe Richtlinie DVS 2205-1)			
T_{AK}	°C	höchste Umgebungstemperatur			
$T_{Bieg,MK}$	s	Schwingungsdauer eines masselosen, einseitig eingespannten Biegebalkens mit Kopfmasse			
T_F	s	Schwingungsdauer des gefüllten Behälters			
T_h	s	Schwingungsdauer der horizontalen Schwingung			
T_M	°C	mittlere Medientemperatur (nach Miner, siehe Richtlinie DVS 2205-1)			

$\sigma_{j,d}^{\text{vorh}}$	N/mm ²	Bemessungswert der Gesamtbeanspruchung im Zylinder in Höhe des Stützens j
$\sigma_{k,d}$	N/mm ²	Bemessungswert der Beulspannung der Steife
$\sigma_{k,i,d}$	N/mm ²	Bemessungswert der axialen Beulspannung im Schuss i
$\sigma_{k,j,d}$	N/mm ²	Bemessungswert der axialen Beulspannung neben dem Stützen j
$\sigma_{k,R,d}$	N/mm ²	Bemessungswert der axialen Beulspannung des Unterstüztungsring
$\sigma_{k,Zar,d}$	N/mm ²	Bemessungswert der axialen Beulspannung der Zarge
$\sigma_{k,ZarS,d}$	N/mm ²	Bemessungswert der axialen Beulspannung der Zarge neben Stützen
$\sigma_{R,d}^{\text{vorh}}$	N/mm ²	Bemessungswert der Gesamtbeanspruchung im Unterstüztungsring
$\sigma_{S,d}^F$	N/mm ²	Bemessungswert der Beanspruchung aus Füllung in der Steife
$\sigma_{S,d}^{\text{pü}}$	N/mm ²	Bemessungswert der Beanspruchung aus langzeitigem Überdruck in der Steife
$\sigma_{Zar,d}^{\text{vorh}}$	N/mm ²	Bemessungswert der Gesamtbeanspruchung in der Zarge
$\sigma_{ZarS,d}^{\text{vorh}}$	N/mm ²	Bemessungswert der Gesamtbeanspruchung in der Zarge neben Stützen

4 Behälterbeschleunigung

4.1 Horizontale Behälterbeschleunigung

Die Ermittlung der dynamischen Lasten stützt sich auf die Berechnungsempfehlungen 40-B3 des Instituts für Bautechnik [3].

Die horizontale Behälterbeschleunigung a_h des Behälters wird auf Grundlage der DIN 4149 unter Vernachlässigung des Schwappens des Mediums im Behälter ermittelt.

Die Erdbebenzone des Aufstellorts wird dem Bild 2 der DIN 4149 bzw. aus Listen [4] entnommen, in denen für einige Bundesländer die Erdbebenzone für die Gemeinden ausgewiesen werden. Damit liegt nach Tabelle 2 der DIN 4149 die horizontale Bodenbeschleunigung a_g fest.

Ebenso kann die geologische Untergrundklasse des Aufstellorts aus Bild 3 der DIN 4149 bzw. den Listen [4] entnommen werden.

Die Baugrundklasse ist vom Betreiber der Behälter anzugeben. Wenn keine gesicherten Angaben zum Baugrund vorliegen, ist die Baugrundklasse C anzusetzen.

Die horizontale Beschleunigung a_h ergibt sich nach DIN 4149 mit dem Spektrum nach Bild 4 in Verbindung mit Tabelle 4 unter Annahme von 5% viskoser Dämpfung, d. h. $\beta_0 = 2,5$ und $\eta = 1$ und dem Bedeutungsbeiwert γ_{IE} . Für Behälter zur Lagerung wassergefährdender Flüssigkeiten ist mindestens $\gamma_{IE} = 1,6$ zu setzen. Der Verhaltensbeiwert ist mit $q = 1,5$ anzusetzen.

Für die Ermittlung des Spektrwertes wird die Schwingungsdauer T_h des Systems benötigt.

4.2 Schwingungsdauer für die Horizontalschwingung

Der Behälter wird als unten eingespannter Balken mit der Höhe $h_F^* = h_F - r \cdot \tan \alpha_B + h_{Zar}$ und der Massenbelegung aus Füllung (die Eigenmasse des Behälters darf vernachlässigt werden) abgebildet. Vereinfachend wird diese Massenbelegung auch im Bereich der Zarge angesetzt.

Nach Rammerstorfer [1] Formeln (11) und (12) bzw. DIN EN 1998-4 Formel (A.24) kann die Kreisfrequenz ω dieses Systems aus

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\sqrt{(1,5 \cdot E_K^{T^{\circ}C}) \cdot s_{1/3} \cdot 10^9}}{\rho_F \cdot h_F^*} \cdot \frac{1}{2 \cdot r \cdot \left(0,157 \cdot \left(\frac{h_F^*}{r}\right)^2 + \frac{h_F^*}{r} + 1,49\right)} \quad 1/s \quad (1)$$

mit $s_{1/3}$ Zylinderwanddicke im unteren Drittelpunkt von h_F^* ermittelt werden. Wegen der sehr kurzen Einwirkdauer der dynami-

sche E-Modul um 50% gegenüber dem Kurzzeit-Modul angehoben. Daraus ergibt sich die Schwingungsdauer über die Beziehung $T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega}$ zu

$$T_F = \frac{1}{\sqrt{(1,5 \cdot E_K^{T^{\circ}C}) \cdot s_{1/3} \cdot 10^9}} \cdot 2 \cdot r \cdot \left(0,157 \cdot \left(\frac{h_F^*}{r}\right)^2 + \frac{h_F^*}{r} + 1,49\right) \quad s \quad (2)$$

Sofern eine Bühne oder ein Rührwerk auf dem Dach angeordnet wird, ist deren Einfluss auf die Schwingungsdauer nachzuweisen. Die Schwingungsdauer eines masselosen Biegebalkens mit dem Trägheitsmoment

$$I = \pi \cdot r^3 \cdot s_{1/3} \quad \text{mm}^4 \quad (3)$$

und der Kopfmasse

$$m_K = \frac{G_A}{1000 \cdot g} \quad \text{kNs}^2/\text{m} \quad (4)$$

folgt aus

$$T_{\text{Bieg},m_K} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_K \cdot h^3}{3 \cdot (1,5 \cdot E_K^{T^{\circ}C}) \cdot I}} \quad s \quad (5)$$

(vereinfachend gilt $h = h_g$)

Die Schwingungsdauer eines masselosen Schubalkens mit der Schubfläche

$$A_S = \pi \cdot r \cdot s_{1/3} \quad \text{mm}^2 \quad (6)$$

und der Kopfmasse m_K folgt aus

$$T_{\text{Schub},m_K} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_K \cdot h}{(1,5 \cdot G_K^{T^{\circ}C}) \cdot A_S}} \quad s$$

$$\text{mit } G_K^{T^{\circ}C} = 0,36 \cdot E_K^{T^{\circ}C} \quad \text{N/mm}^2 \quad (7)$$

Die Schwingungsdauer für die Horizontalschwingung, die alle Einflüsse berücksichtigt, folgt aus

$$T_h = \sqrt{T_F^2 + T_{\text{Bieg},m_K}^2 + T_{\text{Schub},m_K}^2} \quad s \quad (8)$$

Die Dicke $s_{1/3}$ eines abgestuften Zylinders folgt aus (Nummerierung der $n+1$ Schüsse oben beginnend; der $n+1$. Schuss ist die Zarge)

$$s_{1/3} = \frac{4 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n+1} h_i \cdot s_i}{\sum_{i=1}^{n+1} h_i} - s_1}{3} \quad \text{mm} \quad (9)$$

4.3 Vertikale Behälterbeschleunigung

Die vertikale Behälterbeschleunigung a_v des Behälters wird auch auf Grundlage der DIN 4149 ermittelt, dabei ist der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g nach Tabelle 2 der DIN 4149 mit dem Faktor 0,7 abzumindern. Spektrum und Beiwerte entsprechen denen, die für die Ermittlung der horizontalen Beschleunigung verwendet werden (Abschnitt 4.1).

Für die Ermittlung des Spektrwertes wird die Schwingungsdauer T_v der Vertikalschwingung des Systems benötigt.

4.4 Schwingungsdauer für die Vertikalschwingung

Die Schwingungsdauer eines Standzargenbehälters mit Kegel- oder Schrägboden lässt sich nicht mit einfachen Formeln beschreiben. Die vertikale Behälterbeschleunigung a_v wird daher auf der sicheren Seite mit dem Plateauwert des Spektrums und dem Bemessungswert der vertikalen Beschleunigung $0,7 \cdot a_g$ ermittelt. Es ergibt sich

$$a_v = 0,7 \cdot a_g \cdot \gamma_{IE} \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} = 1,167 \cdot a_g \cdot \gamma_{IE} \cdot S \quad \text{m/s}^2 \quad (10)$$

wobei S der Untergrundparameter nach Tabelle 5 der DIN 4149 ist.