

# DIN EN 1993-4-1:2017-09 (D)

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 4-1: Silos;  
Deutsche Fassung EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 + A1:2017

---

Inhalt	Seite
Europäisches Vorwort.....	6
Europäisches Vorwort der Änderung A1.....	10
<b>1 Allgemeines.....</b>	<b>11</b>
1.1 Anwendungsbereich.....	11
1.2 Normative Verweisungen.....	12
1.3 Annahmen.....	13
1.4 Unterscheidung zwischen Grundsätzen und Anwendungsregeln.....	13
1.5 Begriffe.....	13
1.6 In Teil 4-1 von Eurocode 3 verwendete Symbole.....	16
1.6.1 Lateinische Großbuchstaben.....	16
1.6.2 Lateinische Kleinbuchstaben.....	16
1.6.3 Griechische Buchstaben.....	17
1.6.4 Indizes.....	18
1.7 Vorzeichenvereinbarungen.....	19
1.7.1 Vereinbarungen für das globale Koordinatensystem für kreisrunde Silos.....	19
1.7.2 Vereinbarungen für das globale Koordinatensystem für rechteckige Silos.....	20
1.7.3 Vereinbarungen für die Koordinaten von Bauteilen in kreisrunden und rechteckigen Silos.....	21
1.7.4 Vereinbarungen für Schnittgrößen in kreisrunden und rechteckigen Silos.....	23
1.8 Einheiten.....	25
<b>2 Grundlagen der Bemessung.....</b>	<b>25</b>
2.1 Anforderungen.....	25
2.2 Differenzierung der Zuverlässigkeit.....	25
2.3 Grenzzustände.....	27
2.4 Einwirkungen und Umwelteinflüsse.....	27
2.4.1 Allgemeines.....	27
2.4.2 Windlast.....	27
2.4.3 Kombination von Schüttgutlasten mit anderen Einwirkungen.....	27
2.5 Werkstoffeigenschaften.....	27
2.6 Abmessungen.....	27
2.7 Modellierung des Silos zur Berechnung der Beanspruchungen.....	27
2.8 Versuchsgestützte Bemessung.....	28
2.9 Beanspruchungen für den Nachweis der Grenzzustände.....	28
2.9.1 Allgemeines.....	28
2.9.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	28
2.9.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit.....	29
2.10 Dauerhaftigkeit.....	29
2.11 Feuerwiderstand.....	29
<b>3 Werkstoffeigenschaften.....</b>	<b>29</b>
3.1 Allgemeines.....	29
3.2 Baustähle.....	30
3.3 Nichtrostende Stähle.....	30
3.4 Spezielle legierte Stähle.....	30
3.5 Anforderungen an die Zähigkeit.....	31
<b>4 Grundlagen für die statische Berechnung.....</b>	<b>31</b>

4.1	Grenzzustände der Tragfähigkeit .....	31
4.1.1	Basis.....	31
4.1.2	Zu führende Nachweise .....	31
4.1.3	Ermüdung und zyklisches Plastizieren — Kurzzeitermüdung.....	31
4.1.4	Berücksichtigung von Korrosion und Abrasion .....	31
4.1.5	Berücksichtigung von Temperatureinflüssen .....	32
4.2	Berechnung des Schalentragwerks eines kreisrunden Silos .....	32
4.2.1	Modellierung der Tragwerksschale .....	32
4.2.2	Berechnungsmethoden .....	32
4.2.3	Geometrische Imperfektionen.....	34
4.3	Berechnung des Kastentragwerks eines rechteckigen Silos.....	35
4.3.1	Modellierung des Tragwerkskastens .....	35
4.3.2	Geometrische Imperfektionen.....	35
4.3.3	Berechnungsmethoden .....	36
4.4	Orthotrope Ersatzsteifigkeiten von profilierten Wandlechen.....	36
5	Bemessung von zylindrischen Wänden .....	39
5.1	Grundlagen.....	39
5.1.1	Allgemeines.....	39
5.1.2	Bemessung der Silowand.....	39
5.2	Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen zylindrischer Schalen .....	40
5.3	Tragsicherheitsnachweise für zylindrische Silowände .....	40
5.3.1	Allgemeines.....	40
5.3.2	Isotrope, geschweißte oder geschraubte Wände.....	41
5.3.3	Isotrope Wände mit Vertikalsteifen.....	53
5.3.4	Horizontal profilierte Wände.....	56
5.3.5	Vertikal profilierte Wände mit Ringsteifen.....	67
5.4	Besondere Lagerungsbedingungen für zylindrische Silowände.....	68
5.4.1	Zylinderschalen mit voller Auflagerung am unteren Rand oder Lagerung auf einem Trägerrost.....	68
5.4.2	Zylinderschalen mit Zargenlagerung.....	68
5.4.3	Zylinderschalen mit eingebundenen Stützen .....	69
5.4.4	Zylinderschalen mit diskreter Auflagerung .....	69
5.4.5	Silos mit diskreter Auflagerung am Trichter .....	70
5.4.6	Zylindrische Silowände: Details für örtliche Auflager und Krafterleitungsrippen .....	71
5.4.7	Verankerung an der Basis eines Silos.....	72
5.5	Detailausbildung von Öffnungen in zylindrischen Wänden.....	73
5.5.1	Allgemeines.....	73
5.5.2	Rechteckige Öffnungen.....	73
5.6	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit .....	74
5.6.1	Grundlagen.....	74
5.6.2	Durchbiegungen .....	74
6	Bemessung von konischen Trichtern .....	75
6.1	Grundlagen.....	75
6.1.1	Allgemeines.....	75
6.1.2	Bemessung der Trichterwand.....	75
6.2	Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen von Trichterschalen .....	76
6.3	Tragsicherheitsnachweis für konische Trichterwände.....	76
6.3.1	Allgemeines.....	76
6.3.2	Isotrope, unversteifte, geschweißte oder geschraubte Trichter .....	77
6.4	Angaben zu speziellen Trichterkonstruktionen .....	82
6.4.1	Unterstützungskonstruktion.....	82
6.4.2	Stützengelagerte Trichter .....	82
6.4.3	Unsymmetrische Trichter .....	82
6.4.4	Versteifte Kegelschalen.....	83
6.4.5	Mehrfach-Kegelschalen .....	83
6.5	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit .....	83
6.5.1	Grundlagen.....	83

6.5.2	Erschütterungen.....	83
7	Bemessung von kreisrunden konischen Dächern .....	84
7.1	Grundlagen.....	84
7.2	Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen von Dachtragwerken.....	84
7.2.1	Begriffe .....	84
7.3	Tragsicherheitsnachweise für kreisrunde konische Silodächer .....	84
7.3.1	Schalendächer bzw. ungestützte Dächer .....	84
7.3.2	Gespärredächer bzw. gestützte Dächer.....	85
7.3.3	Traufkante (Knotenlinie zwischen Silodach und Siloschaft) .....	85
8	Bemessung von Abzweigungsringen und Auflagerringträgern .....	85
8.1	Grundlagen.....	85
8.1.1	Allgemeines.....	85
8.1.2	Bemessung des Ringes.....	85
8.1.3	Begriffe .....	86
8.1.4	Modellierung des Abzweigungsbereiches.....	86
8.1.5	Grenzen für die Ringanordnung.....	87
8.2	Berechnung des Abzweigungsbereiches.....	87
8.2.1	Allgemeines.....	87
8.2.2	Gleichmäßig unterstützte Abzweigungsbereiche.....	88
8.2.3	Ringträger an der Abzweigung .....	93
8.3	Tragwiderstände .....	96
8.3.1	Allgemeines.....	96
8.3.2	Widerstand gegen plastisches Versagen.....	96
8.3.3	Widerstand gegen Knicken innerhalb der Ringebene .....	97
8.3.4	Widerstand gegen Knicken aus der Ringebene heraus und gegen örtliches Beulen .....	98
8.4	Tragsicherheitsnachweise .....	100
8.4.1	Gleichmäßig unterstützte Abzweigungsbereiche.....	100
8.4.2	Ringträger an der Abzweigung .....	101
8.5	Angaben zur Auflageranordnung am Abzweigungsbereich .....	103
8.5.1	Zargengelagerte Abzweigungsbereiche.....	103
8.5.2	Stützengelagerte Abzweigungsbereiche und Ringträger .....	103
8.5.3	Basisring.....	103
9	Bemessung von rechteckigen und ebenwandigen Silos .....	103
9.1	Grundlagen.....	103
9.2	Klassifizierung der Tragwerksformen .....	104
9.2.1	Unversteifte Silos.....	104
9.2.2	Versteifte Silos.....	104
9.2.3	Silos mit Zugankern.....	104
9.3	Tragwiderstände von unversteiften vertikalen Wänden.....	105
9.4	Tragwiderstand von Silowänden aus versteiften und profilierten Platten.....	105
9.4.1	Allgemeines.....	105
9.4.2	Gesamtbiegung aus direkter Einwirkung des Schüttgutes .....	106
9.4.3	Membranbeanspruchung aus Querscheibenfunktion.....	107
9.4.4	Örtliche Biegung aus Schüttgut und/oder Ausrüstung .....	108
9.5	Silos mit innen liegenden Zugankern .....	108
9.5.1	Durch Schüttgutdruck verursachte Kräfte in innen liegenden Zugankern .....	108
9.5.2	Modellierung der Zuganker .....	110
9.5.3	Lastfälle für Zugankeranschlüsse .....	111
9.6	Tragsicherheit von pyramidischen Trichtern.....	111
9.7	Vertikale Steifen an Kastenwänden .....	113
9.8	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit.....	113
9.8.1	Grundlagen.....	113
9.8.2	Durchbiegungen .....	114
<b>Anhang A (informativ) Vereinfachte Regeln für kreisrunde Silos der Schadensfolgeklasse 1.....</b>		<b>115</b>
A.1	Einwirkungskombinationen für Schadensfolgeklasse 1 .....	115
A.2	Ermittlung der Beanspruchungen .....	115

A.3	Tragsicherheitsnachweise .....	115
A.3.1	Allgemeines.....	115
A.3.2	Isotrope, geschweißte oder geschraubte, zylindrische Wände.....	115
A.3.3	Konische geschweißte Trichter.....	119
A.3.4	Abzweigung.....	120
Anhang B (informativ) Gleichungen für Membranspannungen in konischen Trichtern .....		122
B.1	Konstanter Druck $p_0$ mit Wandreibung $\mu p_0$ .....	122
B.2	Linear veränderlicher Druck (von $p_1$ an der Kegelspitze auf $p_2$ an der Abzweigung) mit Wandreibung $\mu p$ .....	122
B.3	„Radiales Druckfeld“ mit dreieckiger Druckspitze („Switch“) an der Abzweigung.....	122
B.4	Wobei $p_1$ der Druck in Höhe $h_1$ oberhalb der Spitze und $p_2$ der Druck an der Abzweigung ist.Drücke nach verallgemeinerter Trichtertheorie.....	123
Anhang C (informativ) Winddruckverteilung über den Umfang kreisrunder Silos.....		124