

E DIN EN 1993-4-1:2024-01 (D/E)

Erscheinungsdatum: 2023-12-15

**Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 4-1: Silos;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1993-4-1:2024**

**Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 4-1: Silos; German and English version
prEN 1993-4-1:2024**

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort.....	7
0 Einleitung.....	8
0.1 Einleitung zu den Eurocodes	8
0.2 Einleitung zu EN 1993 (alle Teile)	8
0.3 Einleitung zu prEN 1993-4-1.....	10
0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen.....	10
0.5 Nationaler Anhang zu prEN 1993-4-1	10
1 Anwendungsbereich.....	11
1.1 Anwendungsbereich zu EN 1993-4-1	11
1.2 Voraussetzungen	12
2 Normative Verweisungen	13
3 Begriffe, Symbole, Vorzeichenvereinbarungen und Einheiten.....	13
3.1 Begriffe	13
3.2 In Teil 4-1 von Eurocode 3 verwendete Symbole.....	18
3.2.1 Lateinische Großbuchstaben.....	18
3.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben	19
3.2.3 Griechische Buchstaben	20
3.2.4 Indizes.....	22
3.3 Vorzeichenvereinbarungen	23
3.3.1 Vereinbarungen für ein globales Koordinatensystem für das Tragwerk kreisförmiger Silos.....	23
3.3.2 Vereinbarungen für ein globales Koordinatensystem für das Tragwerk rechteckiger Silos.....	24
3.3.3 Vereinbarungen für die Koordinaten von Bauteilen in kreisförmigen und rechteckigen Silos.....	25
3.3.4 Vereinbarungen für Spannungsergebnisse für kreisförmige und rechteckige Silos.....	28
4 Grundlagen der Bemessung.....	29
4.1 Grundlegende Anforderungen	29
4.2 Einheiten	30
4.3 Klassifizierungen von Silos	31
4.3.1 Versagensfolgeklassen für Silos	31
4.3.2 Komplexitätsklassifizierung des Silotragwerks.....	31
4.3.3 Kategorisierung in Silogruppen	32
4.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten.....	34
4.4.2 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit.....	35
4.5 Einwirkungen und Umweltauswirkungen	35
4.5.1 Allgemeines.....	35
4.5.2 Windeinwirkung.....	35
4.5.3 Kombination von Drücken infolge Schüttgut mit anderen Einwirkungen	35
4.6 Abmessungen.....	35
4.7 Modellierung des Silos zur Bestimmung der Auswirkungen von Einwirkungen	36
4.8 Versuchsgestützte Bemessung.....	36

4.9	Auswirkungen von Einwirkungen für Grenzzustandsnachweise.....	36
4.10	Dauerhaftigkeit.....	36
4.11	Feuerwiderstandsfähigkeit.....	36
5	Werkstoffeigenschaften	36
5.1	Allgemeines.....	36
5.2	Baustähle	37
5.3	Nichtrostende Stähle	37
5.4	Spezielle legierte Stähle	37
5.5	Anforderungen an die Zähigkeit	38
6	Grundlagen für die statische Berechnung.....	38
6.1	Grenzzustände der Tragfähigkeit	38
6.1.1	Grundlagen.....	38
6.1.2	Zu führende Nachweise	38
6.1.3	Ermüdung und zyklisches Plastizieren – Kurzzeitermüdung.....	38
6.1.4	Korrosions- und Abrasionszuschläge	39
6.1.5	Berücksichtigung von Temperatureinflüssen	39
6.2	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	39
6.3	Berechnung des Schalensilostragwerks	40
6.3.1	Modellierung der Tragwerksschale	40
6.3.2	Berechnungsverfahren.....	40
6.3.3	Geometrische Imperfektionen.....	43
6.4	Berechnung des Kastentragwerks eines Silos aus Platteneinheiten.....	43
6.4.1	Modellierung des Kastentragwerks aus einer Platteneinheit.....	43
6.4.2	Geometrische Imperfektionen.....	44
6.4.3	Berechnungsverfahren.....	44
6.5	Berechnungsansatz für Profilbleche.....	44
7	Bemessung von Zylinderschalenwänden im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	47
7.1	Grundlagen.....	47
7.1.1	Allgemeines.....	47
7.1.2	Bemessung der Silowand.....	47
7.2	Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen zylindrischer Schalen	48
7.3	Widerstand geschweißter oder geschraubter isotroper Zylinderschalenwände.....	49
7.3.1	Allgemeines.....	49
7.3.2	Beurteilung von Bemessungsspannungsergebnissen	49
7.3.3	Grenzzustand des plastischen Versagens.....	50
7.4	Widerstand isotroper Zylinderwände unter Normaldruckbeanspruchung.....	51
7.4.1	Elastisches Beulen unter konstanter Normaldruckbeanspruchung	51
7.4.2	Elastisches Beulen unter ungleichmäßiger Normaldruckbeanspruchung	53
7.4.3	Elastisches Normaldruckbeulen über einem horizontalen Überlappstoß.....	55
7.4.4	Vereinfachte Behandlung des Beulwiderstands über einem diskreten Auflager	56
7.4.5	Bewertung des Beulwiderstands unter Normaldruckbeanspruchung.....	56
7.5	Widerstand isotroper Zylinderwände unter Außendruck, innerem Teilvakuum und Windlast	58
7.5.1	Beulen der Zylinderwand	58
7.5.2	Einspannung am oberen Rand durch Traufring.....	61
7.5.3	Zwischenringe	63
7.5.4	Widerstand isotroper Zylinderwände unter Membranschub	63
7.6	Interaktionen zwischen Normaldruck-, Umfangsdruck- und Membranschubbeanspruchung in isotropen Wänden.....	65
7.7	Isotrope Wände unter zyklischen Lasten	65
7.7.1	Ermüdung, LS4	65
7.7.2	Zyklisches Plastizieren, LS2	65
7.8	Widerstand isotroper Wände mit Vertikalsteifen.....	65
7.8.1	Allgemeines.....	65
7.8.2	Grenzzustand des plastischen Versagens.....	66
7.8.3	Beulen unter Normaldruckbeanspruchung	66

7.8.4	Beulen unter Außendruck, Teilvakuum oder Windlast.....	68
7.8.5	Beulen unter Membranschubbeanspruchung	68
7.9	Widerstand horizontal profilierter Zylinderwände	69
7.9.1	Allgemeines.....	69
7.9.2	Toleranzanforderungen.....	70
7.9.3	Grenzzustand des plastischen Versagens.....	70
7.9.4	Beulen unter Normaldruckbeanspruchung.....	71
7.9.5	Beulen profilierter Zylinderschalen unter Außendruck, Teilvakuum oder Windlast.....	77
7.9.6	Beulen profilierter Zylinderschalen unter Membranschubbeanspruchung	78
7.10	Vertikal profilierte Zylinderwände mit Ringsteifen	78
7.10.1	Allgemeines.....	78
7.10.2	Grenzzustand des plastischen Versagens.....	79
7.10.3	Beulen unter Normaldruckbeanspruchung.....	79
7.10.4	Beulen unter Außendruck, Teilvakuum oder Windlast.....	79
7.10.5	Membranschub	79
7.11	Bauliche Durchbildung bei Öffnungen in Zylinderwänden	79
7.11.1	Allgemeines.....	79
7.11.2	Rechteckige Öffnungen.....	79
8	Lagerungsbedingungen für Zylinderwände	81
8.1	Schale mit vollständig aufgelagerter Basis	81
8.2	Isotrope Schalen mit Zargenlagerung.....	81
8.3	Isotrope Zylinderschalenwand mit eingebundenen Stützen	81
8.4	Rahmenauflager unter isotroper Siloschalenwand	82
8.5	Diskret aufgelagerte isotrope Zylinderschale ohne Ringträger.....	84
8.6	Diskret aufgelagerte isotrope Zylinderschale mit Ringträger.....	85
8.7	Diskret aufgelagerte isotrope Zylinderschale mit Zwischenring	86
8.7.1	Zwischenring auf idealer Höhe	86
8.7.2	Zwischenring unterhalb der idealen Höhe	88
8.8	Diskret aufgelagerte isotrope Silos mit Stützen unterhalb des Trichters	90
8.9	Lokale Auflagerdetails und Krafteinleitungsrippen in isotropen Zylinderwänden.....	90
8.9.1	Lokale Auflager unter der Wand eines isotropen Zylinders	90
8.9.2	Lokale Rippen zur Lasteinleitung in isotrope Zylinderwände	91
8.10	Verankerung an der Basis eines Silos mit isotroper Wand	92
8.11	Zylinderschalen mit isotroper Wand und Vertikalsteifen mit vollständig aufgelagerter Basis.....	93
8.12	Profilierte versteifte Zylinderschalen mit vollständig aufgelagerter Basis	93
9	Bemessung isotroper konischer Trichter im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	94
9.1	Grundlagen.....	94
9.1.1	Allgemeines.....	94
9.1.2	Unterscheidung zwischen Trichterschalenformen	94
9.2	Bemessung einer isotropen Trichterwand	94
9.3	Widerstand isotroper konischer Trichter.....	95
9.3.1	Allgemeines.....	95
9.3.2	Isotrope, unversteifte, geschweißte oder geschraubte Trichter	96
9.4	Angaben zu speziellen Trichtertragwerken	102
9.4.1	Tragkonstruktionen.....	102
9.4.2	Auf einem Rahmentragwerk aufgelagerte Trichter.....	102
9.4.3	Stützensgelagerte Trichter.....	102
9.4.4	Unsymmetrische Trichter.....	103
9.4.5	Versteifte konische Trichter	103
9.4.6	Konische Trichter aus mehreren Segmenten.....	103
10	Bemessung von Abzweigungen und Stützringträgern in kreisförmigen Silos im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	104
10.1	Grundlagen.....	104
10.1.1	Allgemeines.....	104
10.1.2	Bemessung von Abzweigungsring und Ringträger.....	104

10.1.3	Unterscheidungen zwischen Abzweigungsformen	104
10.1.4	Modellierung isotroper Abzweigungen	105
10.1.5	Grenzen für die Ringanordnung	106
10.2	Berechnung der Abzweigung	106
10.2.1	Allgemeines	106
10.2.2	Gleichmäßig aufgelagerte isotrope Abzweigungen	107
10.2.3	Abzweigung mit isotropem Ringträger über diskreten Auflagern	113
10.3	Tragwerkswiderstände für isotrope Knotenlinien	116
10.3.1	Allgemeines	116
10.3.2	Widerstand im Grenzzustand des plastischen Versagens	116
10.3.3	Widerstand gegen Knicken in der Ebene	118
10.3.4	Widerstand gegen Knicken aus der Ebene und lokales Schalenbeulen nahe der Knotenlinie	118
10.4	Grenzzustandsnachweise für isotrope Abzweigungen	121
10.4.1	Gleichmäßig aufgelagerte Abzweigungen	121
10.4.2	Abzweigungsringträger	122
10.5	Betrachtungen zu Auflageranordnungen für die Knotenlinie	124
10.5.1	Zargengelagerte Knotenlinien	124
10.5.2	Stützengelagerte Knotenlinien und Ringträger	124
10.5.3	Basisring	124
11	Bemessung kreisförmiger konischer Dachtragwerke im Grenzzustand der Tragfähigkeit... 124	
11.1	Grundlagen	124
11.2	Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen von Dachtragwerken	125
11.2.1	Bezeichnungen für Dächer	125
11.3	Widerstand kreisförmiger konischer isotroper Silodächer	125
11.3.1	Schalendächer bzw. ungestützte Dächer	125
11.3.2	Gespärredächer bzw. gestützte Dächer	126
11.3.3	Profilblechdächer	126
11.3.4	Traufkante (Knotenlinie zwischen Dach und Schale)	126
12	Bemessung von rechteckigen und ebenwandigen Silos im Grenzzustand der Tragfähigkeit	126
12.1	Grundlagen	126
12.2	Klassifizierung von ebenwandigen Tragwerksformen	127
12.2.1	Unversteifte Silos	127
12.2.2	Versteifte Silos	127
12.2.3	Silos mit Zugankern	127
12.3	Tragwiderstand unversteifter vertikaler Wände	128
12.4	Tragwiderstand von Silowänden aus versteiften oder profilierten Platten	128
12.4.1	Allgemeines	128
12.4.2	Allgemeine Biegung infolge direkter Einwirkung des Schüttguts	130
12.4.3	Membranspannungen aus Schubfeldwirkung	130
12.4.4	Lokale Biegeeinwirkung aus Schüttgut und/oder Ausrüstung	131
12.5	Silos mit innen liegenden Zugankern	131
12.5.1	Kräfte in innen liegenden Zugankern infolge Schüttgutdruck	131
12.5.2	Modellierung und Grundsätze für die Zugankerberechnung	133
12.5.3	Lastfälle für Silos mit innen liegenden Zugankern	137
12.5.4	Vertikalsteifen an Silos mit innen liegenden Zugankern	137
12.6	Festigkeit von pyramidischen Trichtern	138
12.7	Vertikale Steifen an Kastenwänden	138
12.8	Auflagerungsanforderungen für Platteneinheiten	139
13	Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit	139
13.1	Allgemeines	139
13.2	Zylindrische isotrope und isotrope versteifte Schalenwände	139
13.2.1	Durchbiegungen	139
13.3	Zylindrische profilierte und profilierte versteifte Schalenwände	140
13.3.1	Grundlagen	140

13.4	Konische Trichter.....	140
13.4.1	Grundlagen.....	140
13.4.2	Schwingungen.....	140
13.5	Rechteckige und ebenwandige Silos	140
13.5.1	Grundlagen.....	140
13.5.2	Durchbiegungen	141
Anhang A (informativ) Vereinfachte Regeln für kreisförmige Silos der Silogruppe 1 mit isotropen Wänden.....		
		142
A.1	Anwendung dieses Anhangs	142
A.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	142
A.3	Einwirkungskombinationen für Silogruppe 1	142
A.4	Beurteilung der Auswirkung von Einwirkungen	142
A.5	Beurteilung im Grenzzustand der Tragfähigkeit	142
A.5.1	Allgemeines.....	142
A.5.2	Geschweißte oder geschraubte isotrope Zylinderwände	143
A.5.3	Konische geschweißte oder geschraubte Trichter.....	145
A.5.4	Abzweigung.....	146
Anhang B (informativ) Vereinfachte Regeln für Abzweigungsringträger in kreisförmigen Silos mit horizontal profilierten Wänden und Vertikalsteifen.....		
		149
B.1	Anwendung dieses Anhangs	149
B.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	149
B.3	Bewertung der Umfangskraft im Abzweigungsring.....	149
B.4	Bewertung der Umfangskraft im Abzweigungsring.....	150
B.4.1	Geometrie des Abzweigungsring.....	150
B.4.2	Bestimmung der Umfangskraft im Ring.....	151
B.5	Bestimmung des Knickwiderstands eines Abzweigungsring.....	152
Anhang C (informativ) Ausdrücke für Membranspannungsergebnisse in konischen Trichtern		
		154
C.1	Anwendung dieses Anhangs	154
C.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	154
C.3	Drücke nach allgemeiner Trichtertheorie (nach EN 1991-4).....	154
C.4	Gleichmäßiger Normaldruck p_0 mit Wandreibung μp_0	155
C.5	Linear veränderlicher Normaldruck von p_1 an der Kegelspitze auf p_2 an der Abzweigung mit Wandreibung μp	155
C.6	Normaldruckverteilung im „radialen Spannungsfeld“ mit dreieckiger Spannungsspitze unterhalb der Abzweigung.....	155
Literaturhinweise		157