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 Spannungsresultanten 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 Temperaturauswirkungen ... 39
6.2 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit ... 39
6.3 Berechnung des Schalensilotragwerks ... 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 Bemessungsspannungsresultanten ... 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 N ormaldruckbeanspruchung ... 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 Stützengelagerte 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 Abzweigungsrings **150**
B.4.2 Bestimmung der Umfangskraft im Ring **151**
B.5 Bestimmung des Knickwiderstands eines Abzweigungsrings **152**

Anhang C (informativ) Ausdrücke für Membranspannungsresultanten 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_o mit Wandreibung μp_o **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**