

März 2024

ICS 65.040.20; 91.010.30; 91.080.13

Vorgesehen als Ersatz für EN 1993-4-1:2007

Deutsche Fassung

Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 4-1: Silos

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 4-1: Silos

Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 4-1:
Silos

Dieser Europäische Norm-Entwurf wird den CEN-Mitgliedern zur Umfrage vorgelegt. Er wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 erstellt.

Wenn aus diesem Norm-Entwurf eine Europäische Norm wird, sind die CEN-Mitglieder gehalten, die CEN-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Dieser Europäische Norm-Entwurf wurde von CEN in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch) erstellt. Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC-Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Warnvermerk : Dieses Schriftstück hat noch nicht den Status einer Europäischen Norm. Es wird zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Es kann sich noch ohne Ankündigung ändern und darf nicht als Europäischen Norm in Bezug genommen werden.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

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 Trauftring	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	Rahmenaufleger 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 Krafeinleitungsrippen 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 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

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-4-1:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1993-4-1:2007 einschließlich Änderungen und Berichtigungen ersetzen.

Die erste Generation der EN Eurocodes wurde zwischen den Jahren 2002 und 2007 veröffentlicht. Dieses Dokument wurde als Teil der zweiten Generation der Eurocodes im Rahmen des Mandats M/515 erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben.

Die Eurocodes wurden erarbeitet, um in Verbindung mit einschlägigen Ausführungs-, Werkstoff-, Produkt- und Prüfnormen angewendet zu werden und um Anforderungen an Ausführung, Werkstoffe, Produkte und Prüfung zu identifizieren, auf denen die Eurocodes beruhen.

Die Eurocodes erkennen die Verantwortlichkeit aller Mitgliedstaaten an und wahren deren Recht, sicherheitsbezogene Werte auf nationaler Ebene in Nationalen Anhängen festzulegen.