

ILNAS

Institut luxembourgeois de la normalisation
de l'accréditation, de la sécurité et qualité
des produits et services

ILNAS-EN 1993-4-1:2007

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

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

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

02/2007



Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm EN 1993-4-1:2007 wurde als luxemburgische Norm ILNAS-EN 1993-4-1:2007 übernommen.

Alle interessierten Personen, welche Mitglied einer luxemburgischen Organisation sind, können sich kostenlos an der Entwicklung von luxemburgischen (ILNAS), europäischen (CEN, CENELEC) und internationalen (ISO, IEC) Normen beteiligen:

- Inhalt der Normen beeinflussen und mitgestalten
- Künftige Entwicklungen vorhersehen
- An Sitzungen der technischen Komitees teilnehmen

<https://portail-qualite.public.lu/fr/normes-normalisation/participer-normalisation.html>

DIESES WERK IST URHEBERRECHTLICH GESCHÜTZT

Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne schriftliche Einwilligung weder vervielfältigt noch in sonstiger Weise genutzt werden - sei es elektronisch, mechanisch, durch Fotokopien oder auf andere Art!

ILNAS-EN 1993-4-1:2007

EUROPÄISCHE NORM **EN 1993-4-1**
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

Februar 2007

ICS 65.040.20; 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für ENV 1993-4-1:1999

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

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 12. Juni 2006 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-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. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat 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, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	6
1 Allgemeines	10
1.1 Anwendungsbereich	10
1.2 Normative Verweisungen	10
1.3 Annahmen	12
1.4 Unterscheidung zwischen Grundsätzen und Anwendungsregeln	12
1.5 Begriffe	12
1.6 In Teil 4-1 von Eurocode 3 verwendete Symbole	15
1.6.1 Lateinische Großbuchstaben	15
1.6.2 Lateinische Kleinbuchstaben	15
1.6.3 Griechische Buchstaben	16
1.6.4 Indizes	17
1.7 Vorzeichenvereinbarungen	18
1.7.1 Vereinbarungen für das globale Koordinatensystem für kreisrunde Silos	18
1.7.2 Vereinbarungen für das globale Koordinatensystem für rechteckige Silos	19
1.7.3 Vereinbarungen für die Koordinaten von Bauteilen in kreisrunden und rechteckigen Silos	20
1.7.4 Vereinbarungen für Schnittgrößen in kreisrunden und rechteckigen Silos	22
1.8 Einheiten	24
2 Grundlagen der Bemessung	24
2.1 Anforderungen	24
2.2 Differenzierung der Zuverlässigkeit	25
2.3 Grenzzustände	26
2.4 Einwirkungen und Umwelteinflüsse	26
2.4.1 Allgemeines	26
2.4.2 Windlast	26
2.4.3 Kombination von Schüttgutlasten mit anderen Einwirkungen	26
2.5 Werkstoffeigenschaften	27
2.6 Abmessungen	27
2.7 Modellierung des Silos zur Berechnung der Beanspruchungen	27
2.8 Versuchsgestützte Bemessung	27
2.9 Beanspruchungen für den Nachweis der Grenzzustände	27
2.9.1 Allgemeines	27
2.9.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Grenzzustände der Tragfähigkeit	27
2.9.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	28
2.10 Dauerhaftigkeit	28
2.11 Feuerwiderstand	28
3 Werkstoffeigenschaften	29
3.1 Allgemeines	29
3.2 Baustähle	29
3.3 Nichtrostende Stähle	29
3.4 Spezielle legierte Stähle	29
3.5 Anforderungen an die Zähigkeit	30
4 Grundlagen für die statische Berechnung	30
4.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit	30
4.1.1 Basis	30
4.1.2 Zu führende Nachweise	30
4.1.3 Ermüdung und zyklisches Plastizieren – Kurzeitermüdung	30
4.1.4 Berücksichtigung von Korrosion und Abrasion	30

	Seite
4.1.5	Berücksichtigung von Temperatureinflüssen 31
4.2	Berechnung des Schalentragwerks eines kreisrunden Silos 31
4.2.1	Modellierung der Tragwerksschale 31
4.2.2	Berechnungsmethoden 31
4.2.3	Geometrische Imperfektionen 34
4.3	Berechnung des Kastentragwerks eines rechteckigen Silos 34
4.3.1	Modellierung des Tragwerkskastens 34
4.3.2	Geometrische Imperfektionen 35
4.3.3	Berechnungsmethoden 35
4.4	Orthotrope Ersatzsteifigkeiten von profilierten Wandlechen 35
5	Bemessung von zylindrischen Wänden 37
5.1	Grundlagen 37
5.1.1	Allgemeines 37
5.1.2	Bemessung der Silowand 37
5.2	Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen zylindrischer Schalen 38
5.3	Tragsicherheitsnachweise für zylindrische Silowände 39
5.3.1	Allgemeines 39
5.3.2	Isotrope, geschweißte oder geschraubte Wände 39
5.3.3	Isotrope Wände mit Vertikalsteifen 50
5.3.4	Horizontal profilierte Wände 51
5.3.5	Vertikal profilierte Wände mit Ringsteifen 60
5.4	Besondere Lagerungsbedingungen für zylindrische Silowände 61
5.4.1	Zylinderschalen mit voller Auflagerung am unteren Rand oder Lagerung auf einem Trägerrost 61
5.4.2	Zylinderschalen mit Zargenlagerung 61
5.4.3	Zylinderschalen mit eingebundenen Stützen 61
5.4.4	Zylinderschalen mit diskreter Auflagerung 62
5.4.5	Silos mit diskreter Auflagerung am Trichter 63
5.4.6	Zylindrische Silowände: Details für örtliche Auflager und Krafteinleitungsrippen 63
5.4.7	Verankerung an der Basis eines Silos 64
5.5	Detailausbildung von Öffnungen in zylindrischen Wänden 65
5.5.1	Allgemeines 65
5.5.2	Rechteckige Öffnungen 65
5.6	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit 66
5.6.1	Grundlagen 66
5.6.2	Durchbiegungen 66
6	Bemessung von konischen Trichtern 67
6.1	Grundlagen 67
6.1.1	Allgemeines 67
6.1.2	Bemessung der Trichterwand 67
6.2	Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen von Trichterschalen 68
6.3	Tragsicherheitsnachweis für konische Trichterwände 68
6.3.1	Allgemeines 68
6.3.2	Isotrope, unversteifte, geschweißte oder geschraubte Trichter 69
6.4	Angaben zu speziellen Trichterkonstruktionen 74
6.4.1	Unterstützungskonstruktion 74
6.4.2	Stützengelagerte Trichter 74
6.4.3	Unsymmetrische Trichter 74
6.4.4	Versteifte Kegelschalen 74
6.4.5	Mehrfach-Kegelschalen 75
6.5	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit 75
6.5.1	Grundlagen 75
6.5.2	Erschütterungen 75
7	Bemessung von kreisrunden konischen Dächern 75
7.1	Grundlagen 75
7.2	Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen von Dachtragwerken 76
7.2.1	Begriffe 76

	Seite
7.3	Tragsicherheitsnachweise für kreisrunde konische Silodächer76
7.3.1	Schalendächer bzw. ungestützte Dächer76
7.3.2	Gespärredächer bzw. gestützte Dächer77
7.3.3	Traufkante (Knotenlinie zwischen Silodach und Siloschaft)77
8	Bemessung von Abzweigungsringen und Auflagerringträgern77
8.1	Grundlagen77
8.1.1	Allgemeines77
8.1.2	Bemessung des Ringes77
8.1.3	Begriffe77
8.1.4	Modellierung des Abzweigungsbereiches78
8.1.5	Grenzen für die Ringanordnung79
8.2	Berechnung des Abzweigungsbereiches79
8.2.1	Allgemeines79
8.2.2	Gleichmäßig unterstützte Abzweigungsbereiche79
8.2.3	Ringträger an der Abzweigung83
8.3	Tragwiderstände86
8.3.1	Allgemeines86
8.3.2	Widerstand gegen plastisches Versagen86
8.3.3	Widerstand gegen Knicken innerhalb der Ringebene87
8.3.4	Widerstand gegen Knicken aus der Ringebene heraus und gegen örtliches Beulen88
8.4	Tragsicherheitsnachweise90
8.4.1	Gleichmäßig unterstützte Abzweigungsbereiche90
8.4.2	Ringträger an der Abzweigung92
8.5	Angaben zur Auflageranordnung am Abzweigungsbereich93
8.5.1	Zargengelagerte Abzweigungsbereiche93
8.5.2	Stützensgelagerte Abzweigungsbereiche und Ringträger93
8.5.3	Basisring93
9	Bemessung von rechteckigen und ebenwandigen Silos94
9.1	Grundlagen94
9.2	Klassifizierung der Tragwerksformen94
9.2.1	Unversteifte Silos94
9.2.2	Versteifte Silos94
9.2.3	Silos mit Zugankern94
9.3	Tragwiderstände von unversteiften vertikalen Wänden95
9.4	Tragwiderstand von Silowänden aus versteiften und profilierten Platten95
9.4.1	Allgemeines95
9.4.2	Gesamtbiegung aus direkter Einwirkung des Schüttgutes96
9.4.3	Membranbeanspruchung aus Querscheibenfunktion98
9.4.4	Örtliche Biegung aus Schüttgut und/oder Ausrüstung98
9.5	Silos mit innen liegenden Zugankern99
9.5.1	Durch Schüttgutdruck verursachte Kräfte in innen liegenden Zugankern99
9.5.2	Modellierung der Zuganker100
9.5.3	Lastfälle für Zugankeranschlüsse101
9.6	Tragsicherheit von pyramidischen Trichtern102
9.7	Vertikale Steifen an Kastenwänden103
9.8	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit103
9.8.1	Grundlagen103
9.8.2	Durchbiegungen104
Anhang A (informativ) Vereinfachte Regeln für kreisrunde Silos der Schadensfolgeklasse 1105	
A.1	Einwirkungskombinationen für Schadensfolgeklasse 1105
A.2	Ermittlung der Beanspruchungen105
A.3	Tragsicherheitsnachweise105
A.3.1	Allgemeines105
A.3.2	Isotrope, geschweißte oder geschraubte, zylindrische Wände106
A.3.3	Konische geschweißte Trichter108
A.3.4	Abzweigung110

	Seite
Anhang B (informativ) Gleichungen für Membranspannungen in konischen Trichtern	112
B.1 Konstanter Druck p_0 mit Wandreibung μp_0	112
B.2 Linear veränderlicher Druck (von p_1 an der Kegelspitze auf p_2 an der Abzweigung) mit Wandreibung μp.....	112
B.3 „Radiales Druckfeld“ mit dreieckiger Druckspitze („Switch“) an der Abzweigung	113
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.....	113
Anhang C (informativ) Winddruckverteilung über den Umfang kreisrunder Silos	114

Vorwort

Diese Europäische Norm EN 1993-4-1:2007, „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Silos“ wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis August 2007, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt ENV 1993-4-1:1999.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Hintergrund des Eurocode-Programms

Im Jahre 1975 beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, für das Bauwesen ein Aktionsprogramm auf der Grundlage des Artikels 95 der Römischen Verträge durchzuführen. Die Ziele dieses Programms waren die Beseitigung technischer Handelshemmnisse und die Harmonisierung technischer Spezifikationen.

Im Rahmen dieses Aktionsprogramms leitete die Kommission die Bearbeitung von harmonisierten technischen Regelwerken für die Tragwerksplanung von Bauwerken ein, die im ersten Schritt als Alternative zu den in den Mitgliedsländern geltenden Regeln dienen und diese schließlich ersetzen sollten.

15 Jahre lang leitete die Kommission mit Hilfe eines Lenkungsausschusses mit Vertretern der Mitgliedsländer die Entwicklung des Eurocode-Programms, das in den 80er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts zu der ersten Eurocode-Generation führte.

Im Jahre 1989 entschieden sich die Kommission und die Mitgliedsländer der Europäischen Union und der EFTA, die Entwicklung und Veröffentlichung der Eurocodes über eine Reihe von Mandaten an CEN zu übertragen, damit diese den Status von Europäischen Normen (EN) erhielten. Grundlage war eine Vereinbarung¹⁾ zwischen der Kommission und CEN. Dieser Schritt verknüpft die Eurocodes de facto mit den Regelungen der Richtlinien des Rates und mit den Kommissionsentscheidungen, die die Europäischen Normen behandeln (z. B. die Richtlinie des Rates 89/106/EWG zu Bauprodukten (Bauproduktenrichtlinie), die Richtlinien des Rates 93/37/EWG, 92/50/EWG und 89/440/EWG zur Vergabe öffentlicher Aufträge und Dienstleistungen und die entsprechenden EFTA-Richtlinien, die zur Einrichtung des Binnenmarktes eingeführt wurden).

Das Programm der Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau umfasst die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke*

EN 1992, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*

EN 1993, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

EN 1994, *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*

EN 1995, *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*

1) Vereinbarung zwischen der Kommission der Europäischen Gemeinschaften und dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) zur Bearbeitung der EUROCODES für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauwerken (BC/CEN/03/89).

EN 1996, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*

EN 1997, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*

EN 1998, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*

EN 1999, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumbauten*

Die EN-Eurocodes berücksichtigen die Verantwortlichkeit der Bauaufsichtsorgane in den Mitgliedsländern und haben deren Recht zur nationalen Festlegung sicherheitsbezogener Werte berücksichtigt, so dass diese Werte von Land zu Land unterschiedlich bleiben können.

Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes

Die Mitgliedsländer der EU und EFTA betrachten die Eurocodes als Bezugsdokumente für folgende Zwecke:

- als Mittel zum Nachweis der Übereinstimmung der Hoch- und Ingenieurbauten mit den wesentlichen Anforderungen der Richtlinie 89/106/EWG, besonders mit der wesentlichen Anforderung Nr 1: Mechanische Festigkeit und Standsicherheit und der wesentlichen Anforderung Nr 2: Brandschutz;
- als Grundlage für die Spezifizierung von Verträgen für die Ausführung von Bauwerken und dazu erforderlichen Ingenieurleistungen;
- als Rahmenbedingung für die Erstellung harmonisierter Technischer Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs).

Die Eurocodes haben, soweit sie sich auf die Bauwerke selbst beziehen, eine direkte Verbindung zu den Grundlagendokumenten²⁾, auf die in Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hingewiesen wird, wenn sie auch anderer Art sind als die harmonisierten Produktnormen³⁾. Daher sind technische Gesichtspunkte, die sich aus den Eurocodes ergeben, von den Technischen Komitees des CEN und/oder den Arbeitsgruppen von EOTA, die an Produktnormen arbeiten, zu beachten, damit diese Technischen Spezifikationen mit den Eurocodes vollständig kompatibel sind.

Die Eurocodes liefern Regelungen für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von kompletten Tragwerken und Bauteilen, die sich für die tägliche Anwendung eignen. Sie gehen auf traditionelle Bauweisen und Aspekte innovativer Anwendungen ein, liefern aber keine vollständigen Regelungen für ungewöhnliche Baulösungen und Entwurfsbedingungen. Für diese Fälle können zusätzliche Spezialkenntnisse für den Bauplaner erforderlich sein.

Nationale Fassungen der Eurocodes

Die Nationale Fassung eines Eurocodes enthält den vollständigen Text des Eurocodes (einschließlich aller Anhänge), so wie von CEN veröffentlicht, möglicherweise mit einer nationalen Titelseite und einem nationalen Vorwort sowie einem Nationalen Anhang.

Der Nationale Anhang darf nur Angaben zu den Parametern enthalten, die im Eurocode für nationale Entscheidungen offen gelassen wurden; diese national festzulegenden Parameter (en: Nationally Determined

2) Nach Artikel 3.3 der Bauproduktenrichtlinie sind die wesentlichen Anforderungen in Grundlagendokumenten zu konkretisieren, um damit die notwendigen Verbindungen zwischen den wesentlichen Anforderungen und den Mandaten für die Erstellung harmonisierter Europäischer Normen und ETAGs/ETAs zu schaffen.

3) Nach Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie muss das Grundlagendokument:

- a) die wesentlichen Anforderungen konkretisieren, indem die Begriffe und die technischen Grundlagen harmonisiert und, falls erforderlich, für jede Anforderung Klassen oder Stufen angegeben werden;
- b) Verfahren zur Verbindung dieser Klassen oder Stufen mit den Technischen Spezifikationen angeben, z. B. Berechnungs- oder Prüfverfahren, Entwurfsregeln usw.;
- c) als Bezugsdokument für die Erstellung harmonisierter Normen und Richtlinien für Europäische Technische Zulassungen dienen.

Die Eurocodes spielen de facto eine ähnliche Rolle für die wesentliche Anforderung Nr 1 und einen Teil der wesentlichen Anforderung Nr 2.