

# 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!

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
<b>1 Allgemeines .....</b>	<b>10</b>
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
<b>2 Grundlagen der Bemessung .....</b>	<b>24</b>
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
<b>3 Werkstoffeigenschaften .....</b>	<b>29</b>
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
<b>4 Grundlagen für die statische Berechnung .....</b>	<b>30</b>
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 Silodächer .....76
7.3.1	Schalendächer bzw. ungestützte Dächer .....76
7.3.2	Gespärredächer bzw. gestützte Dächer .....77
7.3.3	Traufkante (Knotenlinie zwischen Silodach und Siloschaft) .....77
8	Bemessung von Abzweigungsringen und Auflagerringträgern .....77
8.1	Grundlagen .....77
8.1.1	Allgemeines .....77
8.1.2	Bemessung des Ringes .....77
8.1.3	Begriffe .....77
8.1.4	Modellierung des Abzweigungsbereiches .....78
8.1.5	Grenzen für die Ringanordnung .....79
8.2	Berechnung des Abzweigungsbereiches .....79
8.2.1	Allgemeines .....79
8.2.2	Gleichmäßig unterstützte Abzweigungsbereiche .....79
8.2.3	Ringträger an der Abzweigung .....83
8.3	Tragwiderstände .....86
8.3.1	Allgemeines .....86
8.3.2	Widerstand gegen plastisches Versagen .....86
8.3.3	Widerstand gegen Knicken innerhalb der Ringebeine .....87
8.3.4	Widerstand gegen Knicken aus der Ringebeine heraus und gegen örtliches Beulen .....88
8.4	Tragsicherheitsnachweise .....90
8.4.1	Gleichmäßig unterstützte Abzweigungsbereiche .....90
8.4.2	Ringträger an der Abzweigung .....92
8.5	Angaben zur Auflageranordnung am Abzweigungsbereich .....93
8.5.1	Zargengelagerte Abzweigungsbereiche .....93
8.5.2	Stützengelagerte Abzweigungsbereiche und Ringträger .....93
8.5.3	Basisring .....93
9	Bemessung von rechteckigen und ebenwandigen Silos .....94
9.1	Grundlagen .....94
9.2	Klassifizierung der Tragwerksformen .....94
9.2.1	Unversteifte Silos .....94
9.2.2	Versteifte Silos .....94
9.2.3	Silos mit Zugankern .....94
9.3	Tragwiderstände von unversteiften vertikalen Wänden .....95
9.4	Tragwiderstand von Silowänden aus versteiften und profilierten Platten .....95
9.4.1	Allgemeines .....95
9.4.2	Gesamtbiegung aus direkter Einwirkung des Schüttgutes .....96
9.4.3	Membranbeanspruchung aus Querscheibenfunktion .....98
9.4.4	Örtliche Biegung aus Schüttgut und/oder Ausrüstung .....98
9.5	Silos mit innen liegenden Zugankern .....99
9.5.1	Durch Schüttgutdruck verursachte Kräfte in innen liegenden Zugankern .....99
9.5.2	Modellierung der Zuganker .....100
9.5.3	Lastfälle für Zugankeranschlüsse .....101
9.6	Tragsicherheit von pyramidischen Trichtern .....102
9.7	Vertikale Steifen an Kastenwänden .....103
9.8	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit .....103
9.8.1	Grundlagen .....103
9.8.2	Durchbiegungen .....104
<b>Anhang A (informativ) Vereinfachte Regeln für kreisrunde Silos der Schadensfolgeklasse 1 .....105</b>	
A.1	Einwirkungskombinationen für Schadensfolgeklasse 1 .....105
A.2	Ermittlung der Beanspruchungen .....105
A.3	Tragsicherheitsnachweise .....105
A.3.1	Allgemeines .....105
A.3.2	Isotrope, geschweißte oder geschraubte, zylindrische Wände .....106
A.3.3	Konische geschweißte Trichter .....108
A.3.4	Abzweigung .....110

	Seite
<b>Anhang B (informativ) Gleichungen für Membranspannungen in konischen Trichtern .....</b>	<b>112</b>
<b>B.1 Konstanter Druck <math>p_0</math> mit Wandreibung <math>\mu p_0</math> .....</b>	<b>112</b>
<b>B.2 Linear veränderlicher Druck (von <math>p_1</math> an der Kegelspitze auf <math>p_2</math> an der Abzweigung) mit Wandreibung <math>\mu p</math>.....</b>	<b>112</b>
<b>B.3 „Radiales Druckfeld“ mit dreieckiger Druckspitze („Switch“) an der Abzweigung .....</b>	<b>113</b>
<b>B.4 wobei <math>p_1</math> der Druck in Höhe <math>h_1</math> oberhalb der Spitze und <math>p_2</math> der Druck an der Abzweigung ist.Drücke nach verallgemeinerter Trichtertheorie.....</b>	<b>113</b>
<b>Anhang C (informativ) Winddruckverteilung über den Umfang kreisrunder Silos .....</b>	<b>114</b>

## 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 Vereinbarung<sup>1)</sup> 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 Grundlagendokumenten<sup>2)</sup>, auf die in Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hingewiesen wird, wenn sie auch anderer Art sind als die harmonisierten Produktnormen<sup>3)</sup>. 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.