

ILNAS

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

ILNAS-EN 1998-4:2006

Eurocode 8 - Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 4: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen

Eurocode 8 - Calcul des structures pour
leur résistance aux séismes - Partie 4:
Silos, réservoirs et canalisations

Eurocode 8 - Design of structures for
earthquake resistance - Part 4: Silos,
tanks and pipelines

07/2006

A decorative graphic in the bottom right corner featuring several interlocking gears in shades of blue and yellow. Overlaid on the gears is a vertical column of binary code (0s and 1s) and various mathematical symbols like plus, minus, and multiplication signs.

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm EN 1998-4:2006 wurde als luxemburgische Norm ILNAS-EN 1998-4:2006 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 8 - Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 4: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen

Eurocode 8 - Design of structures for earthquake
resistance - Part 4: Silos, tanks and pipelines

Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux
séismes - Partie 4: Silos, réservoirs et canalisations

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 15. Mai 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 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, 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
Hintergrund des Eurocode-Programms	6
Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes.....	7
Nationale Normen, die Eurocode implementieren	8
Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs)	8
Zusätzliche Informationen zu EN 1998-4	8
Nationaler Anhang zu EN 1998-4.....	9
1 Allgemeines	10
1.1 Anwendungsbereich.....	10
1.2 Normative Verweisungen	11
1.2.1 Allgemeine Bezugsnormen.....	11
1.3 Annahmen	11
1.4 Unterschiede zwischen den Richtlinien und Anwendungsregeln	12
1.5 Begriffe.....	12
1.5.1 Allgemeines	12
1.5.2 Gemeinsame Begriffe der Eurocodes.....	12
1.5.3 Weitere in EN 1998 verwendete Begriffe	12
1.5.4 Weitere in EN 1998-4 verwendete Begriffe	12
1.6 Symbole	12
1.7 SI-Einheiten	13
2 Allgemeine Prinzipien und Anwendungsregeln	14
2.1 Sicherheitsanforderungen	14
2.1.1 Allgemeines	14
2.1.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	14
2.1.3 Schadensbegrenzungszustand.....	15
2.1.4 Zuverlässigkeitsunterscheidung.....	15
2.1.5 Tragwerk- und Bauteilzuverlässigkeit	16
2.1.6 Auslegungsgrundsätze	17
2.2 Seismische Einwirkung.....	17
2.3 Berechnung	18
2.3.1 Berechnungsmethoden.....	18
2.3.2 Wechselwirkung mit dem Baugrund.....	19
2.3.3 Dämpfung	19
2.4 Verhaltensbeiwerte	20
2.5 Sicherheitsnachweise	20
2.5.1 Allgemeines	20
2.5.2 Kombination der seismischen Einwirkungen mit anderen Einwirkungen.....	20
3 Besondere Prinzipien und Anwendungsregeln für Silos	21
3.1 Einleitung.....	21
3.2 Kombination der Anteile aus Bodenbewegung.....	22
3.3 Berechnung von Silos.....	22
3.4 Verhaltensbeiwerte	24
3.5 Nachweise	25
3.5.1 Grenzzustand der Schadensbegrenzung.....	25
3.5.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	25
4 Besondere Prinzipien und Anwendungsregeln für Behälter.....	26
4.1 Nachweiskriterien	26
4.1.1 Allgemeines	26
4.1.2 Grenzzustand der Schadensbegrenzung	26

	Seite
4.1.3	Grenzzustand der Tragfähigkeit.....27
4.2	Kombination der Komponenten der Bodenbewegung27
4.3	Berechnungsverfahren27
4.3.1	Allgemeines.....27
4.3.2	Hydrodynamische Effekte27
4.4	Verhaltensbeiwerte.....28
4.5	Nachweise29
4.5.1	Grenzzustand der Schadensbegrenzung.....29
4.5.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit.....29
4.6	Zusätzliche Maßnahmen30
4.6.1	Auffangvorrichtungen30
4.6.2	Schwappschwingung der Flüssigkeit31
4.6.3	Interaktion mit Rohrleitungen31
5	Besondere Prinzipien und Anwendungsregeln für oberirdisch verlegte Rohrleitungen.....31
5.1	Allgemeines.....31
5.2	Sicherheitsanforderungen32
5.2.1	Grenzzustand der Schadensbegrenzung.....32
5.2.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit.....32
5.3	Seismische Einwirkungen32
5.3.1	Allgemeines.....32
5.3.2	Seismische Beanspruchung infolge Trägheitsbewegung32
5.3.3	Unterschiedliche Verschiebung33
5.4	Berechnungsverfahren33
5.4.1	Modellbildung33
5.4.2	Berechnung33
5.5	Verhaltensbeiwerte.....34
5.6	Nachweise34
6	Besondere Prinzipien und Anwendungsregeln für eingeeerdete Rohrleitungen34
6.1	Allgemeines.....34
6.2	Sicherheitsanforderungen35
6.2.1	Grenzzustand der Schadensbegrenzung.....35
6.2.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit.....35
6.3	Seismische Einwirkung35
6.3.1	Allgemeines.....35
6.3.2	Seismische Einwirkung bei Trägheitsverschiebung35
6.3.3	Modellierung der seismischen Wellen35
6.3.4	Bleibende Bodenverschiebungen.....36
6.4	Berechnungsmethoden (Wellendurchgang).....36
6.5	Nachweise36
6.5.1	Allgemeines.....36
6.5.2	Eingeeerdete Rohrleitungen in stabilem Boden36
6.5.3	Eingeeerdete Rohrleitungen bei unterschiedlichen Bodenbewegungen (geschweißte Stahlrohrleitungen)37
6.6	Maßnahmen an Verwerfungen37
Anhang A (informativ) Seismische Berechnungsverfahren für Tankbauwerke39	
A.1	Einführung und Anwendungsbereich39
A.2	Vertikale, starre, zylindrische Tanks39
A.2.1	Horizontale Erdbebeneinwirkung39
A.2.2	Vertikale Erdbebeneinwirkung48
A.2.3	Überlagerung der Drücke infolge horizontaler und vertikaler Komponenten der Erdbebeneinwirkung mit den Effekten aus anderen Einwirkungen.....48
A.3	Verankerte, Flexible vertikal zylindrische Tanks.....48
A.3.1	Horizontale Erdbebeneinwirkung48
A.3.2	Überlagerung der Druckanteile infolge horizontaler Komponenten der seismischen Einwirkung50
A.3.3	Vertikale Komponente der Erdbebeneinwirkung54

A.3.4	Überlagerung der Drücke infolge horizontaler und vertikaler Komponenten der Erdbebeneinwirkung mit den Effekten aus anderen Einwirkungen	55
A.4	Rechteckige Tanks	55
A.4.1	Verankerte starre rechteckige Tanks am Boden	55
A.4.2	Verankerte flexible rechteckige Tanks am Boden	56
A.4.3	Kombination der Einwirkungseffekte infolge der unterschiedlichen Komponenten und Einwirkungen	58
A.5	Horizontale, zylindrische Tanks [8].....	58
A.6	Hochbehälter	60
A.7	Boden-Bauwerk-Interaktionseffekte	61
A.7.1	Allgemeines	61
A.7.2	Näherungsverfahren.....	62
A.8	Ablaufdiagramme zur Berechnung der hydrodynamischen Effekte in vertikal zylindrischen Tanks.....	63
A.9	Unverankerte Tanks.....	70
A.9.1	Allgemeines	70
A.9.2	Vertikale Membrandruckkräfte und -spannungen in der Wand infolge des Abhebens	70
A.9.3	Abhebehöhe der Schale und Abhebelänge der Bodenplatte	71
A.9.4	Radiale Membranspannungen in der Bodenplatte [17], [18]	72
A.9.5	Plastische Verdrehung der Bodenplatte	73
A.10	Stabilitätsnachweise für Stahltanks	74
A.10.1	Einleitung.....	74
A.10.2	Nachweis gegen elastisches Beulen	74
A.10.3	Elastisch-plastisches Versagen	75
Anhang B (informativ)	Unterirdische Rohrleitungen	76
B.1	Allgemeine Entwurfsgrundlagen.....	76
B.2	Seismische Einwirkungen auf unterirdische Rohrleitungen.....	76
	Literaturhinweise zu Anhang A.....	79
	Literaturhinweis zu Anhang B.....	80
Bilder		
Bild A.1	— Verteilung des impulsiven Druckes für drei Werte $\gamma = H/R$	41
Bild A.2	— Verhältnis der Ersatzgrößen m_1/m , h_1/H und h_1'/H in Abhängigkeit von der Tankschlankheit (siehe auch Tabelle A.2, Spalten 4, 6 und 8)	43
Bild A.3	— a) Verteilung der ersten zwei Modes der Sloshing-Druckverteilung über die Tankhöhe und b) Werte der ersten beiden Eigenfrequenzen in Abhängigkeit von γ	44
Bild A.4	— a) 1. und 2. modale Sloshing-Masse und b) ihre korrespondierenden Höhen h_{c1} und h_{c2} als Funktionen von γ (siehe auch Tabelle A.2, Spalten 5, 7 und 9)	46
Bild A.5	— Normierter impulsiver Druck auf die Wand eines rechteckigen Tanks senkrecht zur horizontalen Einwirkungsrichtung (nach [8]).....	56
Bild A.6	— Maximalwert des normierten impulsiven Druckes auf eine rechteckige Wand senkrecht zur horizontalen Einwirkungsrichtung (nach [8])	57
Bild A.7	— Normierter konvektiver Druck auf die Wand eines rechteckigen Tanks senkrecht zur horizontalen Einwirkungsrichtung (nach [8]).....	57
Bild A.8	— Bezeichnungen für zylindrische Tanks mit horizontaler Achse (nach [8])	58

Bild A.9 — Impulsive Drücke auf einen horizontalen Zylinder mit $H = R$ bei Einwirkung in Querrichtung (nach [8])	59
Bild A.10 — Dimensionslose erste konvektive Eigenfrequenzen für starre Tanks unterschiedlicher Form (nach [8])	60
Bild A.11 — Verhältnis der axialen Membrandruckkraft von verankerten und unverankerten Festdachtanks am Boden in Abhängigkeit vom Umsturzmoment [4]	71
Bild A.12 — Maximale vertikale Abhebehöhe von unverankerten, zylindrischen Festdachtanks mit Bodenlagerung in Abhängigkeit vom Umsturzmoment M/WH [4]	72
Bild A.13 — Länge des abhebenden Bereichs in von unverankerten, bodengelagerten zylindrischen Festdachtanks in Abhängigkeit von der Abhebehöhe [4]	73
Bild A.14 — Plastische Verdrehung der Bodenplatte des abhebenden Tanks [8]	73
Tabellen	
Tabelle A.1 — Effektiv beteiligte Masse der Tankwand in der ersten Eigenform als Anteil der Gesamtmasse nach dem Vorschlag von Veletsos und Yang	52
Tabelle A.2 — Koeffizienten C_i und C_c für die Grundperiode, Massen m_i und m_c und die Höhen h_i und h_c des Angriffspunktes der Resultierenden der impulsiven und konvektiven Druckkomponenten auf die Tankwand	53

Vorwort

Dieses Dokument EN 1998-4, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen, 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 Januar 2007, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument wird ENV 1998-4:1997 ersetzen.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, 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 Programm auf der Grundlage des Artikels 95 der Römischen Verträge durchzuführen. Das Ziel des Programms war die Beseitigung technischer Handelshemmnisse und die Harmonisierung technischer Normen.

Im Rahmen dieses Programms 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 Lenkungskomitees mit Repräsentanten der Mitgliedsländer die Entwicklung des Eurocode-Programms, das zu der ersten Eurocode-Generation in den 80er Jahren 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 Ratsrichtlinien und Kommissionsentscheidungen, die die Europäischen Normen behandeln (z. B. die Ratsrichtlinie 89/106/EWG zu Bauprodukten, die Bauproduktenrichtlinie, die Ratsrichtlinien 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 eingeleitet wurden).

Das Eurocode-Programm umfasst die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke*

EN 1992, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbetonbauten*

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

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

EN 1994, *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Stahl-Beton-Verbundbauten*

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

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 Aluminiumkonstruktionen*

Die Europäischen Normen berücksichtigen die Verantwortlichkeit der Normungsgremien 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 von 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: Mechanischer 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 Herstellung harmonisierter technischer Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs).

Die Eurocodes haben, da sie sich auf Bauwerke 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 die technischen Gesichtspunkte, die sich aus den Eurocodes ergeben, von den Technischen Komitees von CEN und den Arbeitsgruppen von EOTA, die an Produktnormen arbeiten, zu beachten, damit diese Produktnormen mit den Eurocodes vollständig kompatibel sind.

2) Entsprechend Artikel 3.3 der Bauproduktenrichtlinie sind die wesentlichen Angaben in Grundlagendokumenten zu konkretisieren, um damit die notwendigen Verbindungen zwischen den wesentlichen Anforderungen und den Mandaten für die Erstellung harmonisierter Europäischer Normen und Richtlinien für die europäischen Zulassungen selbst zu schaffen.

3) Nach Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hat das Grundlagendokument:

- a) die wesentliche Anforderung zu konkretisieren, in dem die Begriffe und, soweit erforderlich, die technische Grundlage für Klassen und Anforderungshöhen vereinheitlicht werden,
- b) die Methode zur Verbindung dieser Klasse oder Anforderungshöhen mit technischen Spezifikationen anzugeben, z. B. rechnerische oder Testverfahren, Entwurfsregeln,
- c) als Bezugsdokument für die Erstellung harmonisierter Normen oder Richtlinien für europäische technische Zulassungen zu dienen.

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