

DIN EN 1998-4



ICS 91.120.25

Ersatz für
DIN V ENV 1998-4:2001-07**Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben –
Teil 4: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen;
Deutsche Fassung EN 1998-4:2006**

Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance –
Part 4: Silos, tanks and pipelines;
German version EN 1998-4:2006

Eurocode 8: Calcul des structures pour leur résistance aux séismes –
Partie 4: Silos, réservoirs et canalisations;
Version allemande EN 1998-4:2006

Gesamtumfang 82 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN



Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm EN 1998-4:2006 ist in der Verantwortung von CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ entstanden.

Die Arbeiten wurden auf nationaler Ebene vom NA 005-51-06 AA „Erdbeben; Sonderfragen (Sp CEN/TC 250/SC 8)“ begleitet.

Die Norm ist Bestandteil einer Reihe von Einwirkungs- und Bemessungsnormen, deren Anwendung nur im Paket sinnvoll ist. Dieser Tatsache wird durch die Richtlinie der Kommission der Europäischen Gemeinschaft für die Anwendung der Eurocodes Rechnung getragen, indem dort Übergangsfristen für die verbindliche Umsetzung der Eurocodes in den Mitgliedstaaten vorgesehen sind. Die Übergangsfristen müssen im Einzelfall von CEN und der Kommission präzisiert werden.

Zur Anwendung dieser Norm befindet sich ein Nationaler Anhang (informativ) in Vorbereitung.

Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 1998-4:2001-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) der Vornormcharakter wurde aufgehoben;
- b) Stellungnahmen der nationalen Normungsinstitute eingearbeitet und Text vollständig überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN V ENV 1998-4: 2001-07

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 Management-Zentrum 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

© 2006 CEN Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem
Verfahren, sind weltweit den nationalen Mitgliedern von CEN vorbehalten.

Ref. Nr. EN 1998-4:2006 D



Documents
Document Sharing Hub

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

4.1.3	Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	27
4.2	Kombination der Komponenten der Bodenbewegung	27
4.3	Berechnungsverfahren	27
4.3.1	Allgemeines.....	27
4.3.2	Hydrodynamische Effekte	27
4.4	Verhaltensbeiwerte.....	28
4.5	Nachweise	29
4.5.1	Grenzzustand der Schadensbegrenzung.....	29
4.5.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	29
4.6	Zusätzliche Maßnahmen	30
4.6.1	Auffangvorrichtungen.....	30
4.6.2	Schwappschwingung der Flüssigkeit	31
4.6.3	Interaktion mit Rohrleitungen	31
5	Besondere Prinzipien und Anwendungsregeln für oberirdisch verlegte Rohrleitungen.....	31
5.1	Allgemeines.....	31
5.2	Sicherheitsanforderungen	32
5.2.1	Grenzzustand der Schadensbegrenzung.....	32
5.2.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	32
5.3	Seismische Einwirkungen	32
5.3.1	Allgemeines.....	32
5.3.2	Seismische Beanspruchung infolge Trägheitsbewegung	32
5.3.3	Unterschiedliche Verschiebung.....	33
5.4	Berechnungsverfahren	33
5.4.1	Modellbildung	33
5.4.2	Berechnung.....	33
5.5	Verhaltensbeiwerte.....	34
5.6	Nachweise	34
6	Besondere Prinzipien und Anwendungsregeln für eingerdete Rohrleitungen	34
6.1	Allgemeines.....	34
6.2	Sicherheitsanforderungen	35
6.2.1	Grenzzustand der Schadensbegrenzung.....	35
6.2.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	35
6.3	Seismische Einwirkung	35
6.3.1	Allgemeines.....	35
6.3.2	Seismische Einwirkung bei Trägheitsverschiebung	35
6.3.3	Modellierung der seismischen Wellen	35
6.3.4	Bleibende Bodenverschiebungen.....	36
6.4	Berechnungsmethoden (Wellendurchgang).....	36
6.5	Nachweise	36
6.5.1	Allgemeines.....	36
6.5.2	Eingerdete Rohrleitungen in stabilem Boden	36
6.5.3	Eingerdete Rohrleitungen bei unterschiedlichen Bodenbewegungen (geschweißte Stahlrohrleitungen)	37
6.6	Maßnahmen an Verwerfungen	37
Anhang A	(informativ) Seismische Berechnungsverfahren für Tankbauwerke	39
A.1	Einführung und Anwendungsbereich	39
A.2	Vertikale, starre, zylindrische Tanks	39
A.2.1	Horizontale Erdbebeneinwirkung	39
A.2.2	Vertikale Erdbebeneinwirkung	48
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 Erdbebeneinwirkung	48
A.3.2	Überlagerung der Druckanteile infolge horizontaler Komponenten der seismischen Einwirkung	50
A.3.3	Vertikale Komponente der Erdbebeneinwirkung	54

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_i/m , h_i/H und $\dot{h}_i/H$ 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.

Die Eurocodes enthalten Regelungen für den Entwurf, die Berechnung und Bemessung von kompletten Tragwerken und Baukomponenten, die sich für die tägliche Anwendung eignen. Sie gehen auf traditionelle Bauweisen und Aspekte innovativer Anwendungen ein, enthalten aber keine vollständigen Regelungen für ungewöhnliche Baulösungen und Entwurfsbedingungen, wofür Expertenlösungen erforderlich sein können.

Nationale Normen, die Eurocode implementieren

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

Der Nationale Anhang darf nur Hinweise zu solchen Parametern geben, die im Eurocode für nationale Entscheidungen offengelassen wurden. Diese National Festzulegenden Parameter (NFP) gelten für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauten in dem Land, in dem sie erstellt werden. Sie umfassen:

- Zahlenwerte und/oder Klassen, für die der Eurocode Alternativen anbietet;
- Zahlenwerte, wo die Eurocodes nur Symbole angeben;
- landesspezifische Daten (geographische, klimatische u. a.), z. B. Schneekarten;
- Festlegungen, wenn der Eurocode mehrere alternative Vorgehensweisen anbietet.

Der Nationale Anhang darf auch enthalten:

- Festlegungen zur Anwendung informativer Anhänge;
- Verweise zur Anwendung des Eurocodes, soweit diese ergänzen und nicht widersprechen.

Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten technischen Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs)

Die harmonisierten technischen Spezifikationen für Bauprodukte und die technischen Regelungen für die Tragwerksplanung⁴⁾ müssen konsistent sein. Insbesondere sollten die Hinweise, die mit den CE-Zeichen an den Bauprodukten verbunden sind und die die Eurocodes in Bezug nehmen, klar erkennen lassen, welche National Festlegbaren Parameter (NFP) zugrunde liegen.

Zusätzliche Informationen zu EN 1998-4

Der Anwendungsbereich des Eurocodes 8 wird in EN 1998-1:2004, 1.1.1 festgelegt. Der Anwendungsbereich des vorliegenden Teils der EN 1998 wird in 1.1 festgelegt. Die zusätzlichen Teile des Eurocodes 8 werden in EN 1998-1:2004, 1.1.3 aufgelistet.

EN 1998-4:2006 ist zur Anwendung vorgesehen für:

- Auftraggeber (d. h. für die Formulierung ihrer spezifischen Anforderungen an die Zuverlässigkeitsstufen und Dauerhaftigkeit);

4) Siehe Artikel 3.3 und Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie, ebenso wie 4.2, 4.3.1, 4.3.2 und 5.2 des Grundlagendokumentes Nr 1.

- Planer und Konstrukteure;
- zuständige Behörden.

Für die Auslegung von Bauwerken in seismischen Gebieten sind die Bestimmungen dieser Europäischen Norm zusätzlich zu den Bestimmungen der anderen relevanten Bestimmungen des Eurocodes 8 und den anderen relevanten Eurocodes anzuwenden. Insbesondere ergänzen die Bestimmungen dieser Europäischen Norm die der EN 1991-4, EN 1992-3, EN 1993-4-1, EN 1993-4-2 und EN 1993-4-3, welche keine speziellen Anforderungen an die seismische Bemessung behandeln.

Nationaler Anhang zu EN 1998-4

Diese Norm bietet alternative Verfahren und Empfehlungen für Zahlenwerte und Klassen an, die mit Öffnungsklauseln für nationale Festlegungen versehen sind. Daher sollte die nationale Fassung von EN 1998-4 einen Nationalen Anhang haben, der alle die national festzulegenden Parameter enthält, die für den Entwurf und die Berechnung von Hochbauten und Ingenieurbauwerken, die auf dem Territorium des jeweiligen Landes errichtet worden, zu beachten sind.

Nationale Festlegungen sind in EN 1998-4:2006 an folgenden Stellen möglich:

Abschnitt	Gegenstand
1.1(4)	Zusätzliche Anforderungen an Einrichtungen, die ein hohes Gefährdungspotential für die Bevölkerung und die Umwelt enthalten.
2.1.2(4)P	Referenzwiederkehrperiode T_{NCR} der seismischen Einwirkung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (oder gleichermaßen, die Referenzüberschreitenswahrscheinlichkeit in 50 Jahren, P_{NCR})
2.1.3(5)P	Referenzwiederkehrperiode T_{DLR} der seismischen Einwirkung für den Schadensbegrenzungszustand (oder gleichermaßen, die Referenzüberschreitenswahrscheinlichkeit in 10 Jahren, P_{DLR})
2.1.4(8)	Bedeutungsbeiwerte für Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen
2.2(3)	Abminderungsfaktor ν für die seismische Beanspruchung im Schadensbegrenzungszustand
2.3.3.3(2)P	Größtwert der Abstrahlungsdämpfung bei der Berechnung von Boden-Bauwerk-Wechselwirkung, $\xi_{\max}$
2.5.2(3)P	Werte für ϕ für Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen
3.1(2)P	Wichte γ für Lagergüter in Silos, für die Erdbebenauslegung
4.5.1.3(3)	Verstärkungsfaktor für die durch Rohre in die Anschlussstellen an der Tankwand eingeleiteten Kräfte, zur Bemessung des elastisch bleibenden Bereichs im Schadensbegrenzungszustand
4.5.2.3(2)P	Überfestigkeitsfaktor der Bemessungstragfähigkeit der Rohrleitung im Nachweis, dass die Verbindung der Rohre mit dem Tank nicht fließen, bevor die Rohre den Grenzzustand der Tragfähigkeit erreichen.

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

(1) Der Anwendungsbereich des Eurocodes 8 wird in EN 1998-1:2004, 1.1.1 festgelegt. Der Anwendungsbereich dieser Norm wird in diesem Abschnitt festgelegt. Die zusätzlichen Teile des Eurocodes 8 werden in EN 1998-1:2004, 1.1.3 dargelegt.

(2) Diese Norm enthält Prinzipien und Anwendungsregeln für die seismische Auslegung von aus Rohrleitungssystemen und Lagertanks zusammengesetzten Anlagen, unabhängig von deren Ausbildung und Standort unter konstruktiven Aspekten. Sie kann ebenfalls zur Auslegung von unabhängigen Elementen, wie speziellen Wassertürmen oder Siloanlagen, für granulare Materialien usw. verwendet werden.

(3) Diese Norm enthält die für eine seismische Auslegung dieser Konstruktionen zusätzlichen Kriterien und Regeln. Diese Regeln und Kriterien sind unabhängig von Größe, Konstruktionsart und anderen funktionalen Merkmalen. Für bestimmte Arten von Tanks und Silos werden detaillierte Berechnungs- und Nachweisverfahren angegeben.

(4) Diese Norm ist unvollständig für Anlagen mit hohem Risiko für die Bevölkerung oder die Umwelt. Dafür müssen zusätzliche Anforderungen durch entsprechend kompetente Einrichtungen erarbeitet werden. Diese Norm ist ebenso nicht vollständig für Konstruktionen mit ungewöhnlichen Bauelementen und für solche, bei denen spezielle Maßnahmen und Untersuchungen durchgeführt werden müssen, um den Erdbebenschutz sicherzustellen. Für diese zwei Fälle enthält die Norm nur allgemeine Prinzipien und keine detaillierten Anwendungsregeln.

ANMERKUNG Zusätzliche Anforderungen an Einrichtungen, die ein hohes Gefährdungspotential für die Bevölkerung und die Umwelt enthalten, dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden.

(5) Obwohl Rohrleitungen mit großem Durchmesser im Anwendungsbereich dieser Norm sind, sind die entsprechenden Bemessungsregeln nicht anwendbar auf scheinbar ähnliche Konstruktionen wie Tunnel und große unterirdische Kavernen.

(6) Die Auslegung von Bauwerken der Lebenslinien „*life-lines*“, die oft im Anwendungsbereich dieser Norm liegen, erfordert Konzepte, Modelle und Methoden, welche wesentlich von denen gewöhnlicher Bauwerkstypen abweichen. Das Antwortverhalten und die Stabilität von Silos und Tanks unter Starkbeeinwirkung beinhaltet komplexe Sachverhalte, wie z. B. die Boden-Bauwerk-Interaktion, welche durch vereinfachte Auslegungsverfahren nur schwer zu erfassen sind. Gleiches gilt für die Auslegung von Rohrleitungssystemen in schlechtem und möglicherweise instabilem Boden. Aus diesem Grund weicht der Aufbau dieser Norm von den anderen zugehörigen Teilen der EN 1998 ab. Diese Norm ist im Allgemeinen beschränkt auf grundlegende Prinzipien und methodische Angaben.

ANMERKUNG Detaillierte Bemessungsverfahren für einige typischen Situationen, die über grundsätzliche und methodische Ansätze hinausgehen, sind in den Anhängen A und B aufgeführt.

(7) Die Formulierung und Einführung allgemeiner Anforderungen für Bauwerke im Anwendungsbereich dieser Norm erfolgt nach der Unterscheidung von unabhängigen Bauwerken und redundanten Netzwerken durch die Auswahl von Bedeutungsbeiwerten und/oder durch die Definition von speziellen Nachweiskriterien.

(8) Wenn die Erdbebensicherheit von oberirdisch verlegten Rohrleitungen durch seismische Isolationsvorrichtungen zwischen Rohrleitung und Stützkonstruktion sichergestellt wird, gilt EN 1998-2:2005.

Für die Bemessung von Tanks, Silos oder einzelnen Anlagen oder Komponenten von Rohrleitungssystemen mit spezieller Schwingungsisolation, sind die Vorschriften nach EN 1998-1:2004 anzuwenden.

1.2 Normative Verweisungen

(1)P Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

1.2.1 Allgemeine Bezugsnormen

EN 1990:2002, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991-4:2006, *Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke — Teil 4: Silos und Tankbauwerke*

EN 1992-1-1:2004, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbetonbauten — Teil 1-1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau*

EN 1992-3:2005, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbetonbauten — Teil 3: Stütz- und Behälterbauwerke aus Beton*

EN 1993-1-1:2004, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

EN 1993-1-5:2006, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-5: Ergänzende Regeln zu ebenen Blechfeldern ohne Querbelastrung*

EN 1993-1-6:2006, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Ergänzende Regeln für Schalentragwerke*

EN 1993-1-7:2006, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-7: Ergänzende Regeln zu ebenen Blechfeldern ohne Querbelastrung*

EN 1993-4-1:2006, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4-1: Silos*

EN 1993-4-2:2006, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4-2: Tankbauwerke*

EN 1993-4-3:2006, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4-3: Rohrleitungen*

EN 1997-1:2004, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln*

EN 1998-1:2004, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 1: Grundlagen; Erdbebeneinwirkungen und allgemeine Anforderungen an Bauwerke*

EN 1998-2:2005, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 2: Brücken*

EN 1998-5:2004, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 5: Gründungen, Stützbauwerke*

EN 1998-6:2005, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 6: Türme, Masten und Schornsteine*

1.3 Annahmen

(1)P Die allgemeinen Annahmen sind nach EN 1990:2002, 1. 3 zu treffen.

1.4 Unterschiede zwischen den Richtlinien und Anwendungsregeln

(1)P Der Unterschied zwischen Richtlinien und Anwendungsregeln richtet sich nach EN 1990:2002, 1.4.

1.5 Begriffe

1.5.1 Allgemeines

(1) Für Anwendung dieser Norm sind die folgenden Begriffe zutreffend.

1.5.2 Gemeinsame Begriffe der Eurocodes

(1)P Die Begriffe nach EN 1990:2002, 1.5 gelten.

(2)P Für EN 1998-1:2004, 1.5.1 gelten die gemeinsamen Begriffe aller Eurocodes.

1.5.3 Weitere in EN 1998 verwendete Begriffe

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die Begriffe nach EN 1998-1:2004, 1.5.1 und 1.5.2.

1.5.4 Weitere in EN 1998-4 verwendete Begriffe

1.5.4.1 unabhängiges Bauwerk

Ein Bauwerk, dessen Tragverhalten und dessen funktionales Verhalten während eines Erdbebens und danach nicht durch andere Bauwerke beeinflusst wird. Die Auswirkungen des Versagens beschränken sich dabei nur auf die geforderten Funktionen des Bauwerks selbst.

1.6 Symbole

(1) Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten folgende Symbole:

A_{Ed}	Bemessungswert der seismischen Einwirkung ($= \gamma A_{Ek}$)
A_{Ek}	charakteristischer Wert der seismischen Einwirkung für die entsprechende Referenzwiederkehrperiode
b	horizontale Abmessung des Silos parallel zur Horizontalkomponente der seismischen Einwirkung
d_c	Innendurchmesser eines zylindrischen Silos
d_g	Bemessungsbodenverschiebung nach EN 1998-1:2004, 3.2.2.4(1), zur Anwendung in Gleichung (4.1)
g	Erdbeschleunigung
h_b	Gesamthöhe eines Silos, vom flachen Boden oder dem Auslass des Trichters bis zur äquivalenten Oberfläche des Lagergutes
q	Verhaltensbeiwert
r	Radius eines zylindrischen Silos, einer Silozelle, eines Tanks oder einer Rohrleitung
r_s^*	geometrische Größe, welche für Silos durch Gleichung (3.5) als $r_s^* = \min(H, B_r/2)$ definiert wird
t	Dicke

x	vertikaler Abstand eines Punktes der Silowand bezogen auf den flachen Siloboden oder auf den Auslass eines konischen oder pyramidenförmigen Trichters aus
x	Entfernung zwischen dem Verankerungspunkt der Rohrleitung und dem Anschlusspunkt mit dem Tank
z	vertikal abwärts gerichtete Koordinate eines Silos, gemessen von der äquivalenten Oberfläche des Lagerguts
$\alpha(z)$	Verhältnis der Antwortbeschleunigung in einer Betrachtungsebene z zur Erdbeschleunigung
β	Neigungswinkel der Trichterwand, gemessen von der Vertikalen, oder dem steilsten Neigungswinkel zur Vertikalen der Wand im pyramidenförmigen Trichter
γ	Wichte des Lagerguts im Silo, entsprechend dem oberen charakteristischen Wert in EN 1991-4:2006, Tabelle E.1
χ	Bedeutungsbeiwert
γ_p	Verstärkungsfaktor für die durch die Rohrleitungen in die Anschlussstellen an der Tankwand eingeleiteten Kräfte, zur Bemessung des elastisch bleibenden Bereichs im Schadensbegrenzungszustand, 4.5.1.3(3)
Δ	Minimalwert der erzwungenen relativen Verschiebung zwischen dem ersten Verankerungspunkt der Rohrleitung und dem Tank entsprechend Gleichung (4.1)
$\Delta_{ph,s}$	zusätzlicher Normaldruck auf die Silowand infolge der Antwort des Lagerguts auf die Horizontalkomponente der seismischen Einwirkung
$\Delta_{ph,so}$	Referenzdruck auf die Silowand nach 3.3(8), Gleichung (3.6)
θ	Winkel ($0 \leq \theta \leq 360^\circ$) zwischen der radialen Linie zum Betrachtungspunkt auf der Wand und der Richtung der Horizontalkomponente der seismischen Einwirkung
λ	Korrekturfaktor der Basisschubkraft aus der Ersatzkraftmethode der Bemessung EN 1998-1:2004, 4.3.3.2.2(1)
ν	Abminderungsfaktor für die seismische Einwirkung im Schadensbegrenzungszustand
ξ	viskoses Dämpfungsverhältnis (in Prozent)
$\psi_{2,i}$	die Kombinationskoeffizienten für den quasi-ständigen Wert der veränderlichen Einwirkung i
$\psi_{E,i}$	Kombinationskoeffizient für eine veränderliche Einwirkung i , zur Berechnung der seismischen Einwirkung

1.7 SI-Einheiten

- (1)P Es sind SI-Einheiten nach ISO 1000 zu verwenden.
- (2) Zusätzlich sind die in EN 1998-1:2004, 1.7 empfohlenen Einheiten zu verwenden.

2 Allgemeine Prinzipien und Anwendungsregeln

2.1 Sicherheitsanforderungen

2.1.1 Allgemeines

(1)P Diese Norm behandelt Bauwerke, welche sich insbesondere in den folgenden grundlegenden Eigenschaften unterscheiden können:

- der Art und Menge der gelagerten Produkte und der damit verbundenen potentiellen Gefahr;
- den Anforderungen an die Funktionsfähigkeit während eines Erdbebens und danach;
- den Umweltbedingungen.

(2) Abhängig von der spezifischen Kombination der genannten Eigenschaften sind unterschiedliche Formulierungen der allgemeinen Anforderungen angemessen. In Übereinstimmung mit der allgemeinen Vorgehensweise in den Eurocodes wird die Verwendung von zwei Grenzzuständen bei einer entsprechend angepassten Definition beibehalten.

2.1.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit

(1)P Der Grenzzustand der Tragfähigkeit, für den ein System nachzuweisen ist, wird mit dem Verlust der Funktionsfähigkeit des Systems definiert. Unter Umständen ist bei Überschreiten des Grenzzustandes der Tragfähigkeit eine teilweise Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit mit einem akzeptablen Reparaturaufwand möglich ist.

ANMERKUNG Diese Umstände werden von den verantwortlichen Behörden oder dem Bauherrn festgelegt.

(2)P Für bestimmte Elemente eines Netzwerks sowie für unabhängige Bauwerke, deren Versagen hohe Risiken mit sich bringen, wird der Grenzzustand der Tragfähigkeit durch den Schadenszustand definiert, bei dem auch bei schweren Schäden ein Spröbruchversagen ausgeschlossen wird und eine kontrollierte Freisetzung des Inhalts erlaubt ist.

Wenn das Versagen der genannten Elemente keine hohen Risiken für Menschen und Güter beinhaltet, so kann der Grenzzustand der Tragfähigkeit durch das völlige Versagen des Systems definiert werden.

(3)P Die seismische Einwirkung, bei der der Grenzzustand der Tragfähigkeit nicht überschritten wird, ist festzulegen durch die direkten und indirekten Folgen, die mit einem Versagen des Systems verbunden sind.

(4)P Die Bemessungswert der seismischen Einwirkung A_{Ed} ist durch folgende Kenngrößen festzulegen:

- a) der seismischen Referenzeinwirkung A_{EK} , verbunden mit einer Überschreitenswahrscheinlichkeit, P_{NCR} in 50 Jahren oder einer Referenzwiederkehrperiode T_{NCR} (siehe EN 1998-1:2004, 2.1(1)P und 3.2.1(3)) und
- b) den Bedeutungsbeiwert χ (siehe EN 1990:2002 und EN 1998-1:2004, 2.1((2)P, 2.1(3)P und (4)), um die unterschiedliche Zuverlässigkeit zu berücksichtigen:

$$A_{Ed} = \chi A_{EK}$$

ANMERKUNG Die Werte für die Referenzwiederkehrperiode, T_{NCR} , für die seismische Referenzeinwirkung, dürfen im Nationalen Anhang des jeweiligen Landes festgelegt werden. Der empfohlene Wert ist $T_{NCR} = 475$ Jahre.

(5) Die Fähigkeit der Tragwerke, seismischen Einwirkungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit im nichtlinearen Bereich zu widerstehen, erlaubt es, ihre Konstruktion für geringere seismische Lasten zu bemessen, als bei entsprechender Auslegung für eine linear-elastische Antwort.

(6) Eine nichtlineare Analyse kann vermieden werden, wenn die Fähigkeit des Tragwerks, Energie aufzunehmen (vor allem durch das duktile Verhalten seiner Bauteile und/oder anderer Vorgänge), berücksichtigt wird. Dabei wird eine linear-elastische Analyse mit einem gegenüber dem elastischen Spektrum reduzierten Spektrum durchgeführt. Dieses wird als „Design Spektrum“ bezeichnet. Die Reduzierung erfolgt durch die Einführung des Verhaltensbeiwerts q . Dieser ist eine Näherung des Verhältnisses der seismischen Einwirkung auf das Bauwerk bei einer vollständig elastischen Antwort mit 5 % viskoser Dämpfung zur seismischen Belastung, die in der Bemessung mit einem konventionellen linear-elastischen Modell, welches noch ein zufrieden stellendes Verhalten der Konstruktion im Grenzzustand der Tragfähigkeit sicherstellt, angesetzt wird.

(7) Die Werte des Verhaltensbeiwertes q , der auch den Einfluss einer von 5 % abweichenden Dämpfung berücksichtigt, werden für verschiedene Konstruktionstypen der EN 1998-4 in den entsprechenden Stellen dieses Eurocodes angegeben.

2.1.3 Schadensbegrenzungszustand

(1)P Abhängig von den Merkmalen und dem Verwendungszweck des betrachteten Bauwerks sind einer oder zwei der folgenden Schadensbegrenzungszustände einzuhalten:

- „volle Integrität“;
- „minimale Betriebsfähigkeit“.

(2)P Die „volle Integrität“ erfordert, dass das betrachtete Tragwerk und die zugehörigen spezifischen Elemente unter den relevanten seismischen Einwirkungen voll funktionsfähig und dicht bleiben.

(3)P Die Anforderungen an die „minimale Betriebsfähigkeit“ beinhalten, dass das betrachtete Tragwerk mit seinen Bauteilen Schäden an einigen seiner Elemente erleiden kann. Das Schadensausmaß ist so zu begrenzen, dass nach Schadenskontrollmaßnahmen die Funktionsfähigkeit des Systems bis zu einem bestimmten vordefinierten Grad wiederhergestellt werden kann.

(4)P Die jährliche Überschreitenswahrscheinlichkeit der seismischen Einwirkung, für welche dieser Grenzzustand nicht überschritten werden darf, ist unter Berücksichtigung des Folgenden festzulegen:

- der Konsequenzen eines Funktionsverlustes und/oder einer Freisetzung des Inhalts, und
- der Verluste durch die reduzierte Kapazität des Systems und den notwendigen Reparaturen.

(5)P Die seismische Einwirkung, welche den Schadensbegrenzungszustand nicht überschreitet, hat eine Überschreitenswahrscheinlichkeit, P_{DLR} , in 10 Jahren, bzw. eine Wiederkehrperiode T_{DLR} . Der auf die seismische Bemessungseinwirkung angewendete Abminderungsfaktor nach 2.2(3) kann bei Fehlen genauerer Informationen zur Berechnung der seismischen Einwirkung für den Schadensbegrenzungszustand verwendet werden.

ANMERKUNG Werte für P_{DLR} oder T_{DLR} dürfen im Nationalen Anhang des jeweiligen Landes festgelegt werden. Die empfohlenen Werte sind $P_{DLR} = 10 \%$ und $T_{DLR} = 95$ Jahre.

2.1.4 Zuverlässigkeitsunterscheidung

(1)P Die Höhe des Erdbebenschutzes von Rohrleitungsnetzwerken und unabhängigen Bauwerken (Tanks oder Silos) ist abhängig von der Zahl der betroffenen Menschen und den wirtschaftlichen Verlusten.

(2)P Die Zuverlässigkeitsunterscheidung ist durch eine zweckmäßige Anpassung der jährlichen Überschreitenswahrscheinlichkeit der seismischen Bemessungseinwirkung vorzunehmen.

(3) Diese Anpassung sollte durch eine Einteilung der Bauwerke in verschiedene Bedeutungsklassen und durch Anwendung des Bedeutungsbeiwerts γ auf die zugehörigen seismischen Referenzeinwirkungen

erfolgen. Dieser wird in 2.1.2(4)P und in EN 1998-1:2004, 2.1(3)P festgelegt, seine Größe ist von der Bedeutungsklasse abhängig. Die einzelnen Werte des Bedeutungsbeiwerts γ_1 , die zur Anpassung der Beanspruchungen an die seismischen Einwirkungen einer bestimmten Wiederkehrperiode notwendig sind, hängen von der Seismizität der Region ab. Der Bedeutungsbeiwert von $\gamma_1 = 1,0$ bezieht sich auf die seismische Einwirkung mit der Wiederkehrperiode nach 2.1.2(4)P.

ANMERKUNG Für die Abhängigkeit des Wert von γ_1 siehe Anmerkung in EN 1998-1:2004, 2.1(4).

(4) Für die Bauwerke aus dem Anwendungsbereich dieser Norm ist es zweckmäßig, drei Bedeutungsklassen in Abhängigkeit vom potentiellen Verlust von Menschenleben infolge des Versagens des Einzelbauwerkes und den ökonomischen und sozialen Folgen des Versagens zu unterscheiden. In Abhängigkeit vom Verwendungszweck und vom Inhalt des Bauwerks und den Folgen für die öffentliche Sicherheit können weitere Unterteilungen innerhalb der Bedeutungsklassen getroffen werden.

ANMERKUNG Die Bedeutungsklassen I, II und III/IV entsprechen ungefähr den Konsequenzklassen CC1, CC2 und CC3 nach EN 1990:2002, Anhang B.

(5) Klasse I beinhaltet Situationen mit geringen Risiken für Menschen und vernachlässigbaren ökonomischen und sozialen Auswirkungen im Versagensfall.

(6) Klasse II beinhaltet Bauwerke und Anlagen mit mittleren Risiken für Menschen und (geografisch) lokalen ökonomischen und sozialen Auswirkungen im Versagensfall.

(7) Klasse III beinhaltet Bauwerke und Anlagen mit hohen Risiken für Menschen und großen ökonomischen und sozialen Auswirkungen im Versagensfall.

(8) Klasse IV beinhaltet Bauwerke und Anlagen mit außerordentlich großen Risiken für Menschen und ökonomischen und gesellschaftlichen Auswirkungen im Versagensfall.

ANMERKUNG Die Werte für γ_1 dürfen im Nationalen Anhang des jeweiligen Landes festgelegt werden. Die Werte für γ_1 können sich innerhalb der verschiedenen seismischen Zonen eines Landes unterscheiden. Dies ist abhängig von den seismischen Gefährdungsbedingungen (siehe Anmerkung zu EN 1998-1:2004, 2.1(4)) und den öffentlichen Sicherheitsanforderungen (ausführlich in 2.1.4). Der γ_1 -Wert für die Bedeutungsklasse II ist laut Definition gleich 1,0. Für die anderen Klassen sind die empfohlenen γ_1 -Werte: $\gamma_1 = 0,8$ für Bedeutungsklasse I, $\gamma_1 = 1,2$ für Bedeutungsklasse III und $\gamma_1 = 1,6$ für Bedeutungsklasse IV.

(9)P Rohrleitungssysteme, welche große geografische Entfernungen durchlaufen, treffen gewöhnlich auf eine große Anzahl unterschiedlicher seismischer Gefährdungen und Bodenbedingungen. Zusätzlich sind entlang des Rohrleitungssystems eine Anzahl von Subsystemen vorhanden, wie die angeschlossenen Bauwerke (Behälter, Vorratslager usw.) oder Rohrleitungseinbauten (Ventile, Pumpen usw.). Die kritischen Abschnitte der Rohrleitung (z. B. weniger redundante Teile des Tragwerks) und kritische Komponenten (Pumpen, Kompressoren, Kontrollausrüstungen usw.) sind unter diesen Umständen so zu bemessen, dass sie eine erhöhte Zuverlässigkeit unter seismischer Beanspruchung sicherstellen. Andere, weniger wichtige Komponenten, bei denen auch ein Schaden akzeptabel ist, brauchen nicht nach diesen erhöhten Kriterien bemessen zu werden.

2.1.5 Tragwerk- und Bauteilzuverlässigkeit

(1)P Die in 2.1.4 formulierten Zuverlässigkeitsanforderungen beziehen sich auf ein Gesamttragwerk. Dieses Tragwerk kann aus einer Einzelkomponente oder aus einer Gruppe von verschiedenartig miteinander verbundenen Komponenten bestehen, um die vorgesehenen Funktionen zu erfüllen.

(2) Ein formales Verfahren für die Zuverlässigkeitsanalyse eines Tragwerks ist im Anwendungsbereich dieser Norm nicht enthalten. Der Anwender sollte dennoch die Aufgaben der verschiedenen Elemente untersuchen, um eine kontinuierliche Funktionsfähigkeit des Tragwerks sicherzustellen. Dies ist insbesondere dann notwendig, wenn keine Redundanzen vorhanden sind. Bei sehr komplexen Tragwerken sollten Empfindlichkeitsuntersuchungen durchgeführt werden.

(3)P Elemente oder Bauwerke in einem Netzwerk, welche sich in Bezug auf das Tragwerksversagen als besonders kritisch erweisen, sind entsprechend der Versagensfolgen mit einer zusätzlichen Sicherheit auszustatten. Wenn keine Erfahrungen vorliegen, sind experimentelle Untersuchungen zur Überprüfung der Bemessungsannahmen vorzunehmen.

(4) Wenn keine genaueren Analysen durchgeführt werden, kann die zusätzliche Sicherheit der kritischen Elemente durch Einstufung in eine höhere Bedeutungsklasse als der des Gesamttragwerks erreicht werden. Alternativ dürfen die Kapazitätsbemessungsregeln angewendet werden, um besonders kritische Teile der Strukturen im Netzwerk zu bemessen. Damit kann die tatsächliche Festigkeit von Elementen berücksichtigt werden, welche als nicht kritisch betrachtet werden.

2.1.6 Auslegungsgrundsätze

(1)P Auch wenn die allgemeine seismische Antwort als elastisch angenommen wird, sind die tragenden Elemente für eine lokale Duktilität zu bemessen für die sie ausgelegt werden. Für die Elemente sind duktile Materialien zu verwenden.

(2)P Bei der Auslegung eines Netzwerks oder eines unabhängigen Bauwerks sind die folgenden, allgemeinen Grundsätze zur Verringerung der Erdbebenwirkungen zu berücksichtigen:

- funktionelle Redundanz des Tragwerks;
- Vermeidung von Wechselwirkungen der mechanischen und elektrischen Anlagekomponenten mit den Tragwerkselementen;
- leichter Zugang für Inspektionen, Instandhaltung und Reparatur von Schäden;
- Qualitätskontrolle der Systemkomponenten.

(3) Um das Ausbreiten des Schadens über die Verbindungen zwischen den Elementen in funktional redundanten Tragwerken zu verhindern, sollten die entsprechenden Teile funktionell isoliert werden.

(4) In Fällen, bei denen die Schadensbehebung an erdbebenempfindlichen wichtigen Anlagen schwierig bzw. zeitaufwendig ist, sollten Ersatzanlagen oder -baugruppen vorgesehen werden.

2.2 Seismische Einwirkung

(1)P Die seismischen Einwirkungen zur Ermittlung der seismischen Beanspruchungen auf Silos, Tanks und Rohrleitungen sind entsprechend EN 1998-1:2004, 3.2 festzulegen. Es sind standortabhängige, elastische Antwortspektren (EN 1998-1:2004, 3.2.2) und Zeitverlaufsdarstellungen (EN 1998-1:2004, 3.2.3.1) zu verwenden. Weitere Regeln zur Erfassung der räumlichen Veränderlichkeit der Bodenbewegung von eingeordneten Rohrleitungen sind in Abschnitt 6 angegeben.

(2)P Die zur Untersuchung des Grenzzustandes der Tragfähigkeit verwendeten seismischen Einwirkungen sind in 2.1.2(4)P spezifiziert. Falls die Ermittlung der seismischen Einwirkungseffekte auf einer linear-elastischen Berechnung mit einem Verhaltensbeiwert q größer als 1 nach EN 1998-1:2004, 3.2.2.5(2) beruht, ist das Bemessungsspektrum für die elastische Berechnung nach EN 1998-1:2004, 3.2.2.5 zu bestimmen (siehe auch 2.1.2(6)P).

(3) Ein Abminderungsfaktor ν darf, wie in EN 1998-1:2004, 2.1(1)P angegeben, auf die seismische Bemessungseinwirkung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit angewendet werden, um die geringeren Wiederkehrperioden seismischer Ereignisse für den Schadensbegrenzungszustand zu berücksichtigen. Die Größe des Abminderungsfaktors ν ist von der Bedeutungsklasse des Bauwerks abhängig. Bei seiner Anwendung ist die Annahme eingeschlossen, dass das elastische Antwortspektrum der seismischen Einwirkung für den Nachweis des Schadensbegrenzungszustandes die gleiche Form besitzt wie das elastische Antwortspektrum der Bemessungseinwirkung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit nach EN 1998-1:2004, 2.1(1)P und 3.2.1(3) (siehe EN 1998-1:2004, 3.2.2.1(2) und 4.4.3.2(2)).

ANMERKUNG Die Werte für ν dürfen im Nationalen Anhang des jeweiligen Landes festgelegt werden. In Abhängigkeit von den seismischen Gefährdungsbedingungen und den Schutzziele des Auslegungsgegenstandes sind für die verschiedenen seismischen Zonen eines Landes unterschiedliche Werte von ν zu definieren. Die empfohlenen Werte von ν sind 0,5 für die Bedeutungsklassen I und II, und 0,4 für die Bedeutungsklassen III und IV. Unterschiedliche Werte können aus speziellen Gefährdungsstudien resultieren.

2.3 Berechnung

2.3.1 Berechnungsmethoden

(1) Für die Tragwerke im Anwendungsbereich dieser Norm sollten die seismischen Beanspruchungen auf der Grundlage eines linearen Verhaltens des Bauwerks und des Untergrundes bestimmt werden.

(2) Nichtlineare Methoden dürfen zur Bestimmung der seismischen Beanspruchungen angewandt werden, wenn es durch das nichtlineare Verhalten des Tragwerks und des umgebenden Bodens für das konkrete Problem erforderlich ist oder wenn die elastischen Lösungen wirtschaftlich nicht vertretbar sind.

(3)P Berechnungen, um die seismischen Beanspruchungen für den Schadensbegrenzungszustand zu bewerten, sind linear-elastisch durchzuführen. Dabei sind die elastischen Antwortspektren nach EN 1998-1:2004, 3.2.2.2 und 3.2.2.3, zu verwenden und mit dem Abminderungsfaktor ν nach 2.2(3) zu multiplizieren. In das elastische Antwortspektrum ist ein gewichteter Durchschnittswert für die viskose Dämpfung einzugeben, welcher die verschiedenen Dämpfungswerte der unterschiedlichen Materialien/Bauteile nach 2.3.5 und nach EN 1998-1:2004, 3.2.2.2(3) berücksichtigt.

(4) Berechnungen, um die seismischen Beanspruchungen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit zu bewerten, dürfen linear-elastisch durchgeführt werden nach 2.1.2(6) und EN 1998-1:2004, 3.2.2.5. Dabei sind die Bemessungsspektren nach EN 1998-1:2004, 3.2.2.5 mit einem Dämpfungswert von 5 % zu verwenden. Sie nutzen einen Verhaltensbeiwert q zur Berücksichtigung der Fähigkeit des Tragwerks Energie vor allem durch das Verhalten seiner Bauteile und/oder anderer Mechanismen zu dissipieren sowie zur Berücksichtigung des Einflusses einer von 5 % verschiedenen viskosen Dämpfung (siehe 2.1.2(6)P).

(5)P Wenn nicht anders festgelegt für die besonderen Typen von Bauwerken in den entsprechenden Teilen dieser Norm, sind die anzuwendenden Berechnungsarten nach EN 1998-1:2004, 4.3.3, im Einzelnen:

- a) die „Ersatzkraftmethode“ der (linear-elastischen) Berechnung (siehe EN 1998-1:2004, 4.3.3.2);
- b) die „modale Antwortspektrenmethode“ (linear-elastisch) (siehe EN 1998-1:2004, 4.3.3.3);
- c) die nichtlineare statische (Pushover-) Berechnung (siehe EN 1998-1:2004, 4.3.3.4.2);
- d) die nichtlineare (dynamische) Zeitverlaufsrechnung (siehe EN 1998-1:2004, 4.3.3.4.3).

(6)P Die Abschnitte 4.3.1(1)P, 4.3.1(2), 4.3.1(6), 4.3.1(7), 4.3.1(9)P, 4.3.3.1(5) und 4.3.3.1(6) von EN 1998-1:2004 sind zur Modellbildung und zur Berechnung der Bauwerke, die in dieser Norm behandelt werden, anzuwenden.

(7) Die „Ersatzkraftmethode“ für die linear-elastische Berechnung sollte entsprechend der Abschnitte 4.3.3.2.1(1)P, 4.3.3.2.2(1) (mit $\lambda = 1,0$), 4.3.3.2.2(2) und 4.3.3.2.3(2)P von EN 1998-1:2004 angewendet werden. Sie ist für Bauwerke anwendbar, bei denen die Antwort jeder Komponente der seismischen Einwirkung näherungsweise der eines Einmassenschwingersystems entspricht: für starre (Beton-) Hochbehälter oder Silos auf einer relativ nachgiebigen und nahezu masselosen Gründung.

(8) Die „modale Antwortspektrenmethode“ für die linear-elastische Berechnung sollte entsprechend der Abschnitte 4.3.3.3.1(2)P, 4.3.3.3.1(3), 4.3.3.3.1(4) und 4.3.3.2.2 von EN 1998-1:2004 angewendet werden. Sie ist anwendbar für Bauwerke, deren Antwort stark von den Anteilen anderer Eigenformen, als denen eines Einmassenschwingers in jeder Hauptrichtung beeinflusst wird.

(9) Nichtlineare Berechnungen, die statische (Pushover-) oder die dynamische Zeitverlaufsrechnung sollten EN 1998-1:2004, 4.3.3.4.1 erfüllen.

(10) Die nichtlineare statische (Pushover-) Berechnung sollte nach 4.3.3.4.2.2(1), 4.3.3.4.2.3, 4.3.3.4.2.6 von EN 1998-1:2004 ausgeführt werden.

(11) Die nichtlineare Zeitverlaufsrechnung sollte EN 1998-1:2004, 4.3.3.4.3 erfüllen.

(12) Die entsprechenden Vorschriften von EN 1998-1:2004 sind anwendbar für die Berechnung von Tanks, Silos und den einzelnen Anlagen und Bauteilen von Rohrleitungssystemen, die seismisch basisisoliert sind.

(13) Die entsprechenden Vorschriften von EN 1998-2:2005 sind anwendbar für die Berechnung von oberirdisch verlegten Rohrleitungssystemen, mit seismischen Entkopplungselementen zwischen der Rohrleitung und ihren Stützungen.

2.3.2 Wechselwirkung mit dem Baugrund

(1)P Effekte der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung sind nach EN 1998-5:2004, Abschnitt 6, zu erfassen.

ANMERKUNG Zusätzliche Informationen über die Verfahren zur Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung sind im informativen Anhang A sowie in EN 1998-6:2005, informativer Anhang C, enthalten.

2.3.3 Dämpfung

2.3.3.1 Strukturdämpfung

(1) Wenn die Dämpfungswerte nicht aus speziellen Informationen abgeleitet werden können, sollten für lineare Analysen die folgenden Werte verwendet werden:

a) Zustand der Schadensbegrenzung: die Werte nach EN 1998-2:2005, 4.1.3(1);

b) Grenzzustand der Tragfähigkeit: $\xi = 5 \%$.

2.3.3.2 Dämpfung der gelagerten Flüssigkeit

(1) Für Wasser und andere Flüssigkeiten darf ein Dämpfungswert von 0,5 % angenommen werden, sofern nicht anders festgelegt.

ANMERKUNG Verweise auf zusätzliche Informationen für die Berechnung der Dämpfungswerte von Flüssigkeiten sind im informativen Anhang B zu finden.

(2) Für körniges Material sollte eine geeignete Dämpfung verwendet werden. Wenn keine konkreten Informationen vorhanden sind, darf ein Wert von 10 % angenommen werden.

2.3.3.3 Dämpfung der Gründung

(1) Die Materialdämpfung ist vom Material des Untergrunds und der Stärke des Bebens abhängig. Wenn keine genaueren Bestimmungen verfügbar sind, sollten die Werte der Tabelle 4.1 von EN 1998-5:2004 verwendet werden.

(2)P Die Abstrahlungsdämpfung ist abhängig von der Bewegungsrichtung (horizontale Verschiebung, vertikale Verschiebung, Kippen usw.), der Geometrie der Gründung, der Untergrundsichtung und der Bodenart. Die für die Analyse verwendeten Werte müssen mit den tatsächlichen Standortbedingungen kompatibel sein und sind durch anerkannte theoretische und/oder experimentelle Ergebnisse zu begründen. Die in der Analyse verwendete Abstrahlungsdämpfung darf den Maximalwert $\xi_{\max}$ nicht überschreiten.

ANMERKUNG Die Werte für $\xi_{\max}$ dürfen im Nationalen Anhang des jeweiligen Landes festgelegt werden. Eine Anleitung zur Auswahl und zur Verwendung der Dämpfungswerte mit den entsprechenden Gründungsbewegungen wird durch EN 1998-6:2005 gegeben. Es wird ein Wert von $\xi_{\max} = 25 \%$ empfohlen.

2.3.3.4 Gewichtete Dämpfung

(1) Die globale, durchschnittliche Dämpfung des Gesamtsystems gibt die Anteile der verschiedenen Materialien/Komponenten an der Dämpfung wieder.

ANMERKUNG Verfahren zur Berücksichtigung der Anteile der verschiedenen Materialien/Bauteile an der Gesamtdämpfung des Systems sind in EN 1998-2:2005, Anmerkung 4.1.3(1) und im informativen Anhang B von EN 1998-6:2005 enthalten.

2.4 Verhaltensbeiwerte

(1)P Für den Schadensbegrenzungszustand ist der Verhaltensbeiwert q mit 1,0 anzunehmen.

ANMERKUNG Von den im Anwendungsbereich dieser Norm liegenden Bauwerken ist nicht zu erwarten, dass im Schadensbegrenzungszustand Energie dissipiert wird.

(2) Die Verwendung eines Verhaltensbeiwerts q größer 1,5 im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist nur zulässig, wenn die Möglichkeiten der Energiedissipation konkret nachgewiesen und quantifiziert werden können. Die Möglichkeit des Bauwerks zur Energiedissipation durch eine entsprechende konstruktive Ausbildung ist nachzuweisen.

(3)P Wenn der seismische Schutz durch eine seismische Isolation sichergestellt wird, ist der Verhaltensbeiwert für den Grenzzustand der Tragfähigkeit mit $q = 1,5$ anzunehmen, wenn nicht durch (4)P gegeben.

(4)P Wenn ein Schutz gegen Erdbeben mit Hilfe von Erdbenenisolationsvorrichtungen vorgesehen ist, muss $q = 1$ für die folgenden Fälle angesetzt werden:

- a) für die Bemessung des Stütztragwerks (z. B. die Bauteile unterhalb der Isolationsebene);
- b) für die Wirkung des Tanküberbaus, die sich aus dem übertragenen Anteil des Flüssigkeitsverhaltens (Schwappen) ergibt;
- c) für die Bemessung von Erdbenenisolationsvorrichtungen.

2.5 Sicherheitsnachweise

2.5.1 Allgemeines

(1)P Sicherheitsnachweise sind für die in 2.1 definierten Grenzzustände unter Beachtung der spezifischen Vorschriften in 3.5, 4.5, 5.6 und 6.5 durchzuführen.

(2) Falls die Plattendicke zur Berücksichtigung von Korrosionserscheinungen erhöht wurde, sollten die Nachweise für die erhöhte und die normale Plattendicke durchgeführt werden. Die Berechnung darf auf einem Einzelwert der Plattendicke basieren.

2.5.2 Kombination der seismischen Einwirkungen mit anderen Einwirkungen

(1)P Der Bemessungswert E_d aus den Beanspruchungen der Einwirkungen in der seismischen Bemessungssituation ist nach EN 1990:2002, 6.4.3.4 zu bestimmen. Die Trägheitseffekte der seismischen Bemessungseinwirkung sind nach EN 1998-1:2004, 3.2.4(2)P zu bestimmen.

(2) In teilweise hinterfüllten oder eingeeordneten Tanks enthalten die ständigen Lasten das Gewicht der Erddeckung und einen ständigen Außendruck infolge des Grundwassers zusätzlich zum Gewicht der Konstruktion.

(3)P Die Kombinationskoeffizienten $\psi_{2,i}$ (für den quasi-ständigen Wert der veränderlichen Beanspruchung i) sind nach EN 1991-4 anzusetzen. Die Kombinationskoeffizienten ψ_{Ei} nach EN 1998-1:2004, 3.2.4(2)P für die Berechnung der Erdbebenwirkung sind durch Multiplikation von $\psi_{2,i}$ mit einem Faktor ϕ zu berechnen.

ANMERKUNG Die Werte für $\xi_{\max}$ dürfen im Nationalen Anhang des jeweiligen Landes festgelegt werden. Die empfohlenen Werte sind $\phi = 1$ für gefüllte und $\phi = 0$ für leere Silos, Tanks oder Rohrleitungen.

(4)P Die Beanspruchungen durch den Inhalt sind bei den veränderlichen Lasten für zwei Befüllungszustände zu berücksichtigen: leer oder voll. Bei Gruppen von Silos und Tanks sind unterschiedliche Verteilungen von vollen und leeren Speichern entsprechend dem Betrieb der Anlage zu untersuchen. Es sind wenigstens die beiden Fälle zu betrachten, bei denen alle Speicher voll bzw. leer sind. Für die Bemessung sind nur die symmetrischen Füllgutlasten auf Silos oder Silokammern zu berücksichtigen.

3 Besondere Prinzipien und Anwendungsregeln für Silos

3.1 Einleitung

(1) Es wird unterschieden zwischen:

- direkt auf dem Boden oder der Gründung gelagerten Silos, und
- aufgeständerten Silos, welche hochgelagert oder auf mehreren Stützen (ausgefacht oder nicht), gelagert sind.

Der Haupteffekt der seismischen Einwirkung auf bodenständige Silos sind induzierte Spannungen in der Wandschale durch die Antwort des Siloinhaltes (siehe (3) und 3.3(5) bis (12) für die zusätzlichen Normaldrücke auf die Wandschale). Das Hauptinteresse bei der seismischen Bemessung von aufgeständerten Silos gilt der Stützstruktur und ihrer Duktilität und der Fähigkeit zur Energiedissipation (siehe 3.4(4) und (5)).

(2)P Die Bestimmung der Eigenschaften des granularen Lagergutes des Silos, einschließlich seiner Wichte γ , erfolgt nach EN 1991-4:2006, Abschnitt 4.

ANMERKUNG Die Werte für γ dürfen im Nationalen Anhang des jeweiligen Landes festgelegt werden. Für die in EN 1991-4:2006, Tabelle E.1, aufgelisteten Materialien ist der empfohlene Wert von γ der obere charakteristische Wert der in dieser Tabelle spezifizierten Wichten γ_U .

(3) Unter seismischen Bedingungen entstehen durch das Lagergut an den Wänden, der Zufuhreinrichtung und dem Boden höhere Drücke als unter statischen Bedingungen. Bei der Bemessung ist diese Druckerhöhung gleichzeitig mit den Trägheitskräften des Lagergutes infolge seismischer Einwirkung zu berücksichtigen (siehe 3.3(5)).

(4)P Die äquivalente Oberfläche des Lagergutes (wie in EN 1991-4:2006, 1.5 definiert) in der seismischen Bemessungssituation muss im Einklang stehen mit den Kombinationskoeffizienten ψ_{Ei} , für die Berechnung der Effekte aus den seismischen Einwirkungen nach 2.5.2(3)P.

3.2 Kombination der Anteile aus Bodenbewegung

(1)P Axialsymmetrische Silos oder Teile davon werden unter der Annahme ausgelegt, dass nur eine horizontale Komponente und die vertikale Komponente der seismischen Einwirkung gleichzeitig auftreten. In allen anderen Fällen sind die Silos für die gleichzeitige Einwirkung durch zwei horizontale und die vertikale Komponente zu bemessen.

(2) Wenn die Tragwerksantwort jeder Komponente infolge der seismischen Einwirkung getrennt berechnet wird, darf EN 1998-1:2004, 4.3.3.5.2(4) für die Ermittlung der ungünstigsten Effekte infolge der gleichzeitig wirkenden Komponenten angewendet werden.

(3)P Wenn die Gleichungen (4.20), (4.21), (4.22) in EN 1998-1:2003, 4.3.3.5.2(4) für die Berechnung der Beanspruchung der gleichzeitig wirkenden Komponenten angewendet werden, ist unabhängig von Vorzeichen für die Beanspruchung infolge jeder Einzelkomponente der ungünstigste Wert für den Einzel-Einwirkungseffekt einzusetzen.

(4)P Wenn die Berechnung mit gleichzeitiger Einwirkung durch die drei seismischen Bewegungskomponenten durchgeführt wird, ist der Maximalwert der Gesamtantwort unter Kombination der horizontalen und vertikalen Komponenten für die Tragfähigkeitsnachweise zu verwenden.

3.3 Berechnung von Silos

(1) Die Berechnung von Silos erfolgt in Übereinstimmung mit 2.3 und 3.3.

(2)P Das Berechnungsmodell zur Bestimmung der seismischen Beanspruchungen sollte genau die Steifigkeit, die Masse und die geometrischen Eigenschaften des Silos sowie die Einflüsse des Inhalts und der Interaktion mit dem Boden erfassen. Die Modellierung und die Berechnung von Stahlsilos ist nach EN 1993-4-1:2006, Abschnitt 4, durchzuführen.

(3)P Für die Berechnung des Silos ist elastisches Verhalten der Silowand und seiner Stützkonstruktion zugrunde zu legen, sofern kein genauerer Nachweis für eine nichtlineare Berechnung geführt wird.

(4) Wenn keine genaueren Untersuchungen durchgeführt werden, darf zur Berechnung der Gesamtantwort und der Beanspruchung der Stützkonstruktion vereinfacht angenommen werden, dass die Masse des Füllgutes starr mit der Siloschale verbunden ist. Die Modellbildung erfolgt unter Ansatz der effektiven Masse in ihrem Schwerpunkt und ihrer Rotationsträgheit. Wenn keine genauere Abschätzung gemacht wird, darf die effektive Masse des Siloinhalts mit 80 % der Gesamtmasse angenommen werden.

(5) Können die mechanischen Eigenschaften und die dynamische Antwort des Lagerguts in der Berechnung als eindeutig und genau angesehen werden (z. B. durch Nutzung eines FEM-Modells für die mechanischen Eigenschaften und die dynamische Antwort des Lagerguts), darf die Beanspruchung der Wand aus der Antwort des Lagerguts infolge der horizontalen Komponente der seismischen Einwirkung durch einen zusätzlichen Normaldruck auf die Wand $\Delta_{ph,s}$ (positiv für Druck) nach (6) bis (10) und den Bedingungen (11) und (12) berücksichtigt werden. Dieser zusätzliche Druck ist nur an dem Teil der Wand anzusetzen, der mit dem Lagergut in Kontakt ist, d. h. bis zur äquivalenten Oberfläche des Lagerguts aus der Bemessung (siehe 3.1(4)P).

(6) In zylindrischen Silos (oder Silokammern) darf der zusätzliche Ringdruck auf die Wand angesetzt werden:

$$\Delta_{ph,s} = \Delta_{ph,so} \cos \theta \quad (3.1)$$

Dabei ist

$\Delta_{ph,so}$ der Referenzdruck, siehe (8);

θ der Winkel ($0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$) zwischen der radialen Linie zum Betrachtungspunkt auf der Wand und der Richtung der horizontalen Komponente aus der seismischen Einwirkung.

(7) In rechteckigen Silos (oder Silokammern) darf der zusätzliche Druck auf die Wand, infolge einer horizontalen Komponente der seismischen Einwirkung parallel oder senkrecht auf die Silowand wie folgt angesetzt werden:

- an der „abgewandten“ Wand senkrecht zur horizontalen Komponente der seismischen Einwirkung:

$$A_{ph,s} = A_{ph,so} \quad (3.2)$$

- an der „zugewandten“ Wand senkrecht zur horizontalen Komponente der seismischen Einwirkung:

$$A_{ph,s} = -A_{ph,so} \quad (3.3)$$

- an den Wänden parallel zur horizontalen Komponente der seismischen Einwirkung:

$$A_{ph,s} = 0 \quad (3.4)$$

(8) Der Referenzdruck $A_{ph,so}$ ergibt sich an Punkten auf der Silowand mit der vertikalen Entfernung x von einem flachen Boden oder der Spitze eines konischen oder pyramidenförmigen Trichters:

$$A_{ph,so} = \alpha(z) \gamma \min(r_s^*; 3x) \quad (3.5)$$

Dabei ist

$\alpha(z)$ das Verhältnis der Antwortbeschleunigung des Silos mit einer vertikalen Entfernung z von der äquivalenten Oberfläche des Lagerguts, zur Erdbeschleunigung;

γ die Wichte des jeweiligen Lagerguts in der seismischen Bemessungssituation (siehe 3.1(1)P) und

r_s^* ist definiert als:

$$r_s^* = \min(h_b, d_c/2) \quad (3.6)$$

Dabei ist

h_b die Gesamthöhe des Silos von einem flachen Boden oder der Trichteröffnung bis zur äquivalenten Oberfläche des Lagerguts, und

d_c die Innenabmessung des Silos parallel zur horizontalen Komponente der seismischen Einwirkung (Innendurchmesser d_c in zylindrischen Silos oder Silokammern, horizontale Innenabmessung b parallel zur Horizontalkomponente der seismischen Einwirkung in rechteckigen Silos oder Silokammern)

(9) Gleichung (3.6) ist für vertikale Silowände anwendbar. Innerhalb der Höhe des Trichters ergibt sich der Referenzdruck $A_{ph,so}$ aus:

$$A_{ph,so} = \alpha(z) \gamma \min(r_s^*; 3x) / \cos \beta \quad (3.7)$$

Dabei ist

β der Neigungswinkel der Trichterwand, gemessen von der Vertikalen, oder dem steilsten Neigungswinkel zur Vertikalen der Wand im pyramidenförmigen Trichter.

(10) Wenn nur der Wert der Antwortbeschleunigung im Massenschwerpunkt des Lagerguts bekannt ist (siehe z. B. (4) und 2.3.1(7)), darf das entsprechende Verhältnis der Antwortbeschleunigung zur Erdbeschleunigung nach Gleichung (3.7) für $\alpha(z)$ verwendet werden.