DIN EN 1993-4-1

DIN

ICS 65.040.20; 91.010.30; 91.080.10

Ersatzvermerk
siehe unten

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 4-1: Silos; Deutsche Fassung EN 1993-4-1:2007 + AC:2009

Eurocode 3: Design of steel structures –
Part 4-1: Silos;
German version EN 1993-4-1:2007 + AC:2009

Eurocode 3: Calcul des structures en acier –
Partie 4-1: Silos;
Version allemande EN 1993-4-1:2007 + AC:2009

Ersatzvermerk

Ersatz für DIN EN 1993-4-1:2007-07;
mit DIN EN 1993-1-8:2010-12, DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12 und DIN EN 1993-4-1/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18914:1985-09;
mit DIN EN 1993-4-1/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18914 Beiblatt 1:1985-09;
Ersatz für DIN EN 1993-4-1 Berichtigung 1:2009-09

Gesamtumfang 118 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

© DIN Deutsches Institut für Normung e. V. · Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.
Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

Preisgruppe 12
www.din.de
www.beuth.de

Documents
Document Sharing Hub
1723897

NormCD - Stand 2011-01

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-4-1:2007 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Die Arbeiten auf nationaler Ebene wurden durch die Experten des NABau-Spiegelausschusses NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung“ begleitet.

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

Die Norm ist Bestandteil einer Reihe von Einwirkungs- und Bemessungsnormen, deren Anwendung nur im Paket sinnvoll ist. Dieser Tatsache wird durch das Leitpapier L der Kommission der Europäischen Gemeinschaft für die Anwendung der Eurocodes Rechnung getragen, indem Übergangsfristen für die verbindliche Umsetzung der Eurocodes in den Mitgliedsstaaten vorgesehen sind. Die Übergangsfristen sind im Vorwort dieser Norm angegeben.

Die Anwendung dieser Norm gilt in Deutschland in Verbindung mit dem Nationalen Anhang.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Der Beginn und das Ende des hinzugefügten oder geänderten Textes wird im Text durch die Textmarkierungen ▌AC〉 〈AC▐ angezeigt.

Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 1993-4-1:2002-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) die Stellungnahmen der nationalen Normungsinstitute wurden eingearbeitet;

b) der Vornormcharakter wurde aufgehoben;

c) der Text wurde vollständig überarbeitet.

Gegenüber DIN EN 1993-4-1:2007-07, DIN EN 1993-4-1 Berichtigung 1:2009-09, DIN 18914:1985-09 und DIN 18914 Beiblatt 1:1985-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) auf europäisches Bemessungskonzept umgestellt;

b) Ersatzvermerke korrigiert;

c) Vorgänger-Norm mit der Berichtigung 1 konsolidiert;

d) redaktionelle Änderungen durchgeführt.

Frühere Ausgaben

DIN 18914: 1985-09
DIN 18914 Beiblatt 1: 1985-09
DIN V ENV 1993-4-1: 2002-05
DIN EN 1993-4-1: 2007-07
DIN EN 1993-4-1 Berichtigung 1: 2009-09

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

EUROPÄISCHE NORM

EUROPEAN STANDARD

NORME EUROPÉENNE

EN 1993-4-1

Februar 2007

+AC

April 2009

ICS 65.040.20; 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für ENV 1993-4-1:1999

Deutsche Fassung

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

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

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

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

Die Berichtigung tritt am 22. April 2009 in Kraft und wurde in EN 1993-4-1:2007 eingearbeitet.

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 Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, 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: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2009 CEN Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den nationalen Mitgliedern von CEN vorbehalten.

Ref. Nr. EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 D

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

Inhalt

Seite

Vorwort 6

1 Allgemeines 10
1.1 Anwendungsbereich 10
1.2 Normative Verweisungen 10
1.3 Annahmen 12
1.4 Unterscheidung zwischen Grundsätzen und Anwendungsregeln 12
1.5 Begriffe 12
1.6 In Teil 4-1 von Eurocode 3 verwendete Symbole 15
1.6.1 Lateinische Großbuchstaben 15
1.6.2 Lateinische Kleinbuchstaben 15
1.6.3 Griechische Buchstaben 16
1.6.4 Indizes 17
1.7 Vorzeichenvereinbarungen 18
1.7.1 Vereinbarungen für das globale Koordinatensystem für kreisrunde Silos 18
1.7.2 Vereinbarungen für das globale Koordinatensystem für rechteckige Silos 19
1.7.3 Vereinbarungen für die Koordinaten von Bauteilen in kreisrunden und rechteckigen Silos 20
1.7.4 Vereinbarungen für Schnittgrößen in kreisrunden und rechteckigen Silos 22
1.8 Einheiten 24

2 Grundlagen der Bemessung 24
2.1 Anforderungen 24
2.2 Differenzierung der Zuverlässigkeit 25
2.3 Grenzzustände 26
2.4 Einwirkungen und Umwelteinflüsse 26
2.4.1 Allgemeines 26
2.4.2 Windlast 26
2.4.3 Kombination von Schüttgutlasten mit anderen Einwirkungen 26
2.5 Werkstoffeigenschaften 27
2.6 Abmessungen 27
2.7 Modellierung des Silos zur Berechnung der Beanspruchungen 27
2.8 Versuchsgestützte Bemessung 27
2.9 Beanspruchungen für den Nachweis der Grenzzustände 27
2.9.1 Allgemeines 27
2.9.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Grenzzustände der Tragfähigkeit 27
2.9.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit 28
2.10 Dauerhaftigkeit 28
2.11 Feuerwiderstand 28

3 Werkstoffeigenschaften 29
3.1 Allgemeines 29
3.2 Baustähle 29
3.3 Nichtrostende Stähle 29
3.4 Spezielle legierte Stähle 29
3.5 Anforderungen an die Zähigkeit 30

4 Grundlagen für die statische Berechnung 30
4.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit 30
4.1.1 Basis 30
4.1.2 Zu führende Nachweise 30
4.1.3 Ermüdung und zyklisches Plastizieren — Kurzzeitermüdung 30
4.1.4 Berücksichtigung von Korrosion und Abrasion 30
4.1.5 Berücksichtigung von Temperatureinflüssen 31
4.2 Berechnung des Schalentragwerks eines kreisrunden Silos 31
4.2.1 Modellierung der Tragwerksschale 31

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

Seite

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 Wandblechen 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 65
5.5 Detailausbildung von Öffnungen in zylindrischen Wänden 66
5.5.1 Allgemeines 66
5.5.2 Rechteckige Öffnungen 66
5.6 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit 67
5.6.1 Grundlagen 67
5.6.2 Durchbiegungen 67

6 Bemessung von konischen Trichtern 68
6.1 Grundlagen 68
6.1.1 Allgemeines 68
6.1.2 Bemessung der Trichterwand 68
6.2 Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen von Trichterschalen 69
6.3 Tragsicherheitsnachweis für konische Trichterwände 69
6.3.1 Allgemeines 69
6.3.2 Isotrope, unversteifte, geschweißte oder geschraubte Trichter 70
6.4 Angaben zu speziellen Trichterkonstruktionen 75
6.4.1 Unterstützungskonstruktion 75
6.4.2 Stützengelagerte Trichter 75
6.4.3 Unsymmetrische Trichter 75
6.4.4 Versteifte Kegelschalen 75
6.4.5 Mehrfach-Kegelschalen 76
6.5 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit 76
6.5.1 Grundlagen 76
6.5.2 Erschütterungen 76

7 Bemessung von kreisrunden konischen Dächern 76
7.1 Grundlagen 76
7.2 Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen von Dachtragwerken 77
7.2.1 Begriffe 77
7.3 Tragsicherheitsnachweise für kreisrunde konische Silodächer 77
7.3.1 Schalendächer bzw. ungestützte Dächer 77

NormCD - Stand 2011-01

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

Seite

7.3.2 Gespärredächer bzw. gestützte Dächer 78
7.3.3 Traufkante (Knotenlinie zwischen Silodach und Siloschaft) 78

8 Bemessung von Abzweigungsringen und Auflagerringträgern 78
8.1 Grundlagen 78
8.1.1 Allgemeines 78
8.1.2 Bemessung des Ringes 78
8.1.3 Begriffe 78
8.1.4 Modellierung des Abzweigungsbereiches 79
8.1.5 Grenzen für die Ringanordnung 80
8.2 Berechnung des Abzweigungsbereiches 80
8.2.1 Allgemeines 80
8.2.2 Gleichmäßig unterstützte Abzweigungsbereiche 81
8.2.3 Ringträger an der Abzweigung 84
8.3 Tragwiderstände 87
8.3.1 Allgemeines 87
8.3.2 Widerstand gegen plastisches Versagen 87
8.3.3 Widerstand gegen Knicken innerhalb der Ringebene 88
8.3.4 Widerstand gegen Knicken aus der Ringebene heraus und gegen örtliches Beulen 89
8.4 Tragsicherheitsnachweise 91
8.4.1 Gleichmäßig unterstützte Abzweigungsbereiche 91
8.4.2 Ringträger an der Abzweigung 93
8.5 Angaben zur Auflageranordnung am Abzweigungsbereich 94
8.5.1 Zargengelagerte Abzweigungsbereiche 94
8.5.2 Stützengelagerte Abzweigungsbereiche und Ringträger 94
8.5.3 Basisring 94

9 Bemessung von rechteckigen und ebenwandigen Silos 95
9.1 Grundlagen 95
9.2 Klassifizierung der Tragwerksformen 95
9.2.1 Unversteifte Silos 95
9.2.2 Versteifte Silos 95
9.2.3 Silos mit Zugankern 95
9.3 Tragwiderstände von unversteiften vertikalen Wänden 96
9.4 Tragwiderstand von Silowänden aus versteiften und profilierten Platten 96
9.4.1 Allgemeines 96
9.4.2 Gesamtbiegung aus direkter Einwirkung des Schüttgutes 97
9.4.3 Membranbeanspruchung aus Querscheibenfunktion 99
9.4.4 Örtliche Biegung aus Schüttgut und/oder Ausrüstung 99
9.5 Silos mit innen liegenden Zugankern 100
9.5.1 Durch Schüttgutdruck verursachte Kräfte in innen liegenden Zugankern 100
9.5.2 Modellierung der Zuganker 101
9.5.3 Lastfälle für Zugankeranschlüsse 102
9.6 Tragsicherheit von pyramidischen Trichtern 103
9.7 Vertikale Steifen an Kastenwänden 104
9.8 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit 104
9.8.1 Grundlagen 104
9.8.2 Durchbiegungen 105

Anhang A (informativ) Vereinfachte Regeln für kreisrunde Silos der Schadensfolgeklasse 1 106
A.1 Einwirkungskombinationen für Schadensfolgeklasse 1 106
A.2 Ermittlung der Beanspruchungen 106
A.3 Tragsicherheitsnachweise 106
A.3.1 Allgemeines 106
A.3.2 Isotrope, geschweißte oder geschraubte, zylindrische Wände 107
A.3.3 Konische geschweißte Trichter 110
A.3.4 Abzweigung 111

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

Seite

Anhang B (informativ) **Gleichungen für Membranspannungen in konischen Trichtern** **113**
B.1 **Konstanter Druck p_o mit Wandreibung μp_o** **113**
B.2 **Linear veränderlicher Druck (von p_1 an der Kegelspitze auf p_2 an der Abzweigung) mit Wandreibung μp** **113**
B.3 **„Radiales Druckfeld“ mit dreieckiger Druckspitze (“Switch”) an der Abzweigung** **114**
B.4 **Wobei p_1 der Druck in Höhe h_1 oberhalb der Spitze und p_2 der Druck an der Abzweigung ist.Drücke nach verallgemeinerter Trichtertheorie** **114**

Anhang C (informativ) **Winddruckverteilung über den Umfang kreisrunder Silos** **115**

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-4-1:2007 + AC:2009) 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[1)] 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*

---

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).

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

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*
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[2)], auf die in Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hingewiesen wird, wenn sie auch anderer Art sind als die harmonisierten Produktnormen[3)]. 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.

---

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.

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

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 Parameters; NDP) gelten für die Tragwerksplanung von Hoch- und Ingenieurbauten in dem Land, in dem sie erstellt werden. Dazu gehören:

— Zahlenwerte und/oder Klassen, wo die Eurocodes Alternativen eröffnen;

— zu verwendende Zahlenwerte, wo die Eurocodes nur Symbole angeben;

— landesspezifische Daten (geographische, klimatische usw.), z. B. Schneekarten;

— die Vorgehensweise, wenn die Eurocodes mehrere Verfahren zur Wahl anbieten.

Darüber hinaus kann er Folgendes enthalten:

— Vorschriften zur Verwendung der informativen Anhänge,

— Hinweise zur Anwendung der Eurocodes, soweit diese die Eurocodes ergänzen und ihnen nicht widersprechen.

Verbindungen zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs)

Es besteht die Notwendigkeit, dass die harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte und die technischen Regelungen für die Tragwerksplanung[4)] konsistent sind. Insbesondere sollten alle Hinweise, die mit der CE-Kennzeichnung von Bauprodukten verbunden sind und die die Eurocodes in Bezug nehmen, klar erkennen lassen, welche national festzulegenden Parameter (NDP) zu Grunde liegen.

Zusätzliche Informationen zu EN 1993-4-1

EN 1993-4-1 enthält Hinweise für die Tragwerksplanung von Silos.

EN 1993-4-1 enthält Bemessungs- und Konstruktionsregeln, die die allgemeinen Regeln in den verschiedenen Teilen von EN 1993-1 ergänzen.

EN 1993-4-1 ist für die Anwendung durch Bauherren, Tragwerksplaner, Auftragnehmer und zuständige Behörden vorgesehen.

EN 1993-4-1 ist dazu vorgesehen, zusammen mit EN 1990, EN 1991-4 und den anderen Teilen von EN 1991, mit EN 1993-1-6 und EN 1993-4-2 und den anderen Teilen von EN 1993 sowie mit EN 1992 und den anderen Teilen von EN 1994 bis EN 1999 angewendet zu werden, so weit für die Bemessung und Konstruktion von Silos maßgeblich. Die in diesen Dokumenten bereits behandelten Aspekte werden nicht wiederholt.

Zahlenwerte für Teilsicherheitsbeiwerte und andere Zuverlässigkeitsparameter werden als Grundwerte empfohlen, die eine annehmbare Zuverlässigkeit sicherstellen. Sie gelten unter der Annahme angemessener handwerklicher Ausführung der Arbeiten und eines geeigneten Qualitätsmanagements.

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

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

Sicherheitsbeiwerte für Silos, die ‚Bauprodukte' sind (Werksfertigung), dürfen von den zuständigen Behörden festgelegt werden. Bei Anwendung auf Silos, die ‚Bauprodukte' sind, sind die in [AC] 2.9 [AC] angegebenen Beiwerte nur Richtwerte. Ihre Angabe dient der Darstellung des geeigneten Niveaus, das für eine mit anderen Bemessungen verträgliche Zuverlässigkeit benötigt wird.

Nationaler Anhang zu EN 1993-4-1

Diese Norm enthält alternative Verfahren, Werte und Empfehlungen zusammen mit Hinweisen, an welchen Stellen möglicherweise nationale Festlegungen getroffen werden müssen. Daher sollte die jeweilige nationale Ausgabe von EN 1993-4-1 einen Nationalen Anhang mit allen national festzulegenden Parametern enthalten, die für die Bemessung und Konstruktion von Hoch- und Ingenieurbauten, die in dem Ausgabeland gebaut werden sollen, erforderlich sind.

Nationale Festlegungen sind in den folgenden Abschnitten von EN 1993-4-1 vorgesehen:

- 2.2 (1);
- 2.2 (3);
- 2.9.2.2 (3);
- 3.4 (1);
- 4.1.4 (2) und (4);
- 4.2.2.3 (6);
- 4.3.1 (6) und (8);
- 5.3.2.3 (3);
- 5.3.2.4 (10), (12) und (15);
- 5.3.2.5 (10) und (14);
- 5.3.2.6 (3) und (6);
- 5.3.2.8 (2);
- 5.3.3.5 (1) und (2);
- 5.3.4.3.2 (2);
- 5.3.4.3.3 (2) und (5);
- 5.3.4.3.4 (5);
- 5.3.4.5 (3);
- [AC] 5.4.4(2), (3)b) und (3)c) [AC];
- 5.4.7 (3);
- 5.5.2 (3);
- 5.6.2 (1) und (2);
- 6.1.2 (4);
- 6.3.2.3 (2) und (4);
- 6.3.2.7 (3);
- 7.3.1 (4);
- 8.3.3 (4);
- 8.4.1 (6);
- 8.4.2 (5);
- 8.5.3 (3);
- 9.5.1 (3) und (4);
- 9.5.2 (5);
- 9.8.2 (1) und (2);
- A.2 (1) und (2);
- A.3.2.1 (6);
- A.3.2.2 (6);
- A.3.2.3 (2);
- A.3.3 (1), (2) und (3);
- A.3.4 (4).

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

(1) Der vorliegende Teil 4-1 des Eurocodes 3 enthält Grundsätze und Anwendungsregeln für die Tragwerksplanung von freistehenden oder unterstützten Stahlsilos mit kreisrundem oder rechteckigem Grundriss.

(2) Die in diesem Teil enthaltenen Bestimmungen ergänzen, ändern oder ersetzen die entsprechenden der in EN 1993-1 enthaltenen Bestimmungen.

(3) Dieser Teil behandelt nur die Anforderungen an Tragwiderstand und Stabilität von Stahlsilos. Zu sonstigen Anforderungen (z. B. an die Betriebssicherheit, Funktionstüchtigkeit, Herstellung und Montage, Qualitätskontrolle, Details wie Mannlöcher, Stutzen, Fülleinrichtungen, Austragsöffnungen, Feeder usw.) siehe die einschlägigen Normen.

(4) Bestimmungen für die speziellen Anforderungen der Bemessung gegen Erdbeben sind in EN 1998-4 enthalten, wo die Bestimmungen von Eurocode 3 spezifisch für diesen Zweck ergänzt oder angepasst werden.

(5) Die Bemessung von Unterstützungskonstruktionen für Silos wird in EN 1993-1-1 behandelt. Zur Unterstützungskonstruktion gehören alle Bauteile unterhalb des Unterflansches des untersten Siloringes, siehe Bild 1.1.

(6) Stahlbetonfundamente für Stahlsilos werden in EN 1992 und EN 1997 behandelt.

(7) Zahlenwerte der spezifischen Einwirkungen, die bei der Bemessung von Stahlsilos zu berücksichtigen sind, werden in EN 1991-4, *Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter* angegeben.

(8) Der vorliegende Teil 4-1 gilt nicht für:

- Feuerwiderstand (Brandschutz);
- Silos mit inneren Unterteilungen und Innenkonstruktionen;
- Silos mit weniger als 〚AC〛 100 kN (10 Tonnen) 〚AC〛 Speicherkapazität;
- Fälle, in denen spezielle Maßnahmen zur Begrenzung von Schadensfolgen erforderlich sind.

(9) In den Abschnitten dieser Norm, die für kreisrunde Silos gelten, ist die geometrische Form zwar auf rotationssymmetrische Tragwerke beschränkt, diese können jedoch unsymmetrischen Einwirkungen ausgesetzt und unsymmetrisch aufgelagert sein.

1.2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 1090, *Ausführung von Tragwerken aus Stahl*

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke*

EN 1991-1, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke — Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau*

EN 1991-1-2, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen — Brandeinwirkungen auf Tragwerke*

EN 1991-1-3, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen —*

NormCD - Stand 2011-01
Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

Schneelasten

EN 1991-1-4, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen — Windlasten*

EN 1991-1-5, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen — Temperatureinwirkungen*

EN 1991-1-6, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-6: Allgemeine Einwirkungen — Einwirkungen während der Bauausführung*

EN 1991-1-7, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen — Außergewöhnliche Einwirkungen*

EN 1991-4, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 4: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter*

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

EN 1993-1-3, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche*

EN 1993-1-4, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln zur Anwendung von nicht rostenden Stählen*

EN 1993-1-6, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Tragfähigkeit und Stabilität von Schalen*

EN 1993-1-7, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-7: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln zu ebenen Blechfeldern mit Querbelastung*

EN 1993-1-8, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*

EN 1993-1-9, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-9: Ermüdung*

EN 1993-1-10, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung*

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

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

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

EN 1998-4, *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 4: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen*

EN 10025, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Technische Lieferbedingungen*

▌AC〉 EN 10149 〈AC▌, *Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen*

ISO 1000, *SI units*

ISO 3898, *Bases for design of structures — Notation — General symbols*

ISO 4997, *Cold reduced steel sheet of structural quality*

ISO 8930, *General principles on reliability for structures — List of equivalent terms*

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

1.3 Annahmen

(1) Zusätzlich zu den allgemeinen Annahmen von EN 1990 gilt die folgende Annahme:

— Herstellung und Montage erfolgen nach EN 1090-2.

1.4 Unterscheidung zwischen Grundsätzen und Anwendungsregeln

Siehe EN 1990, 1.4.

1.5 Begriffe

(1) Falls nichts anderes angegeben ist, gelten die in EN 1990. 1.5 für den allgemeinen Gebrauch in den Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau definierten Begriffe und die Begriffe von ISO 8930 auch für diesen Teil 4-1 von EN 1993; ergänzend werden für diesen Teil 4-1 jedoch folgende Begriffe festgelegt:

1.5.1 Schale. Ein Tragwerk, das aus einer gekrümmten dünnen Wandung besteht.

1.5.2 Rotationsschale. Eine Schale, deren Geometrie durch die Rotation eines Meridians um eine zentrale Achse definiert ist.

1.5.3 Kasten. Ein durch den Zusammenbau ebener Bleche zu einer dreidimensionalen geschlossenen Form gebildetes Tragwerk. Ein Kasten im Sinne dieser Norm hat im Allgemeinen in allen Richtungen Abmessungen von gleicher Größenordnung.

1.5.4 Meridianrichtung. Die Tangente an die Silowand in jedem Punkt einer vertikalen Ebene. Sie ändert sich mit dem jeweils betrachteten Tragwerksteil. Alternativ ist es die vertikale oder geneigte Richtung auf der Oberfläche des Tragwerkes, der ein Regentropfen auf dieser Oberfläche folgen würde.

1.5.5 Umfangsrichtung. Die horizontale Tangente an die Silowand in jedem Punkt. Sie ändert sich längs des Siloumfangs, liegt in einer horizontalen Ebene und ist tangential zur Silowand, unabhängig davon, ob der Silo im Grundriss kreisrund oder rechteckig ist.

1.5.6 Mittelfläche. Dieser Ausdruck bezeichnet sowohl die spannungsfreie Mittelfläche einer Schale unter reiner Biegung als auch die Mittelfläche eines ebenen Bleches, das Teil eines Kastens ist.

1.5.7 Steifenabstand. Der Achsabstand zweier benachbarter paralleler Steifen.

Ergänzend zu Teil 1 von EN 1993 (und Teil 4 von EN 1991) gelten für die Anwendung dieses Teils 4-1 die folgenden Begriffe, siehe Bild 1.1:

1.5.8 Silo: Ein Silo ist ein Behälter zur Speicherung körniger Feststoffpartikel. In dieser Norm wird davon ausgegangen, dass er eine vertikale Form hat, in die das Schüttgut mittels Schwerkraft am oberen Ende eingefüllt wird. Die Bezeichnung ‚Silo' schließt alle Tragwerksformen zur Speicherung von Schüttgut ein, auch wenn sie zum Teil eigenständige Bezeichnungen haben, z. B. Behälter, Trichter, Getreidetank oder Bunker.

1.5.9 Schaft: Der Siloschaft ist der mit vertikalen Wänden versehene Teil eines Silos.

1.5.10 Trichter: Ein Trichter ist ein zum Siloboden zusammenlaufender Siloabschnitt. Er wird angeordnet, um das Schüttgut zu einem Schwerkraftauslass zu leiten.

1.5.11 Knotenlinie: An einer Knotenlinie treffen zwei oder mehr Schalenabschnitte oder ebene Kastenwände zusammen. Sie kann auch eine Steife einschließen: Die Anschlusslinie einer Ringsteife an eine Schale oder einen Kasten kann als eine Knotenlinie betrachtet werden.

1.5.12 Abzweigung: Die spezielle Knotenlinie zwischen Siloschaft und Trichter wird Abzweigung genannt. Die Abzweigung kann sich im unteren Bereich des Schaftes oder an seinem unteren Rand befinden.

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

1.5.13 Zarge (Standzarge): Die Zarge ist der Teil des Siloschaftes, der unterhalb der Abzweigung liegt: Er unterscheidet sich vom oberen Teil dadurch, dass er keinen Kontakt zum Schüttgut hat.

1.5.14 Schuss: Ein Schuss ist eine horizontale Reihe von Stahlblechsegmenten, aus denen ein Höhenabschnitt des Siloschaftes gebildet wird.

1.5.15 Längssteife: Eine Längssteife ist ein örtliches Versteifungsbauteil, das einem Schalenmeridian folgt, welcher eine Erzeugende der Rotationsschale darstellt. Eine Längssteife soll entweder die Stabilität verbessern oder bei der Einleitung örtlicher Lasten mitwirken oder Axiallasten tragen. Sie dient nicht primär dazu, die Biegetragfähigkeit für Querlasten zu erhöhen.

1.5.16 Rippe: Eine Rippe ist ein örtliches Bauteil, das eine primäre Biegelastabtragung längs eines Schalen- oder Plattenmeridians ermöglicht, welcher eine Erzeugende der Rotationsschale oder eine vertikale Steife an einem Kasten darstellt. Eine Rippe wird vorgesehen, um Querlasten mittels Biegung auf das Tragwerk zu verteilen.

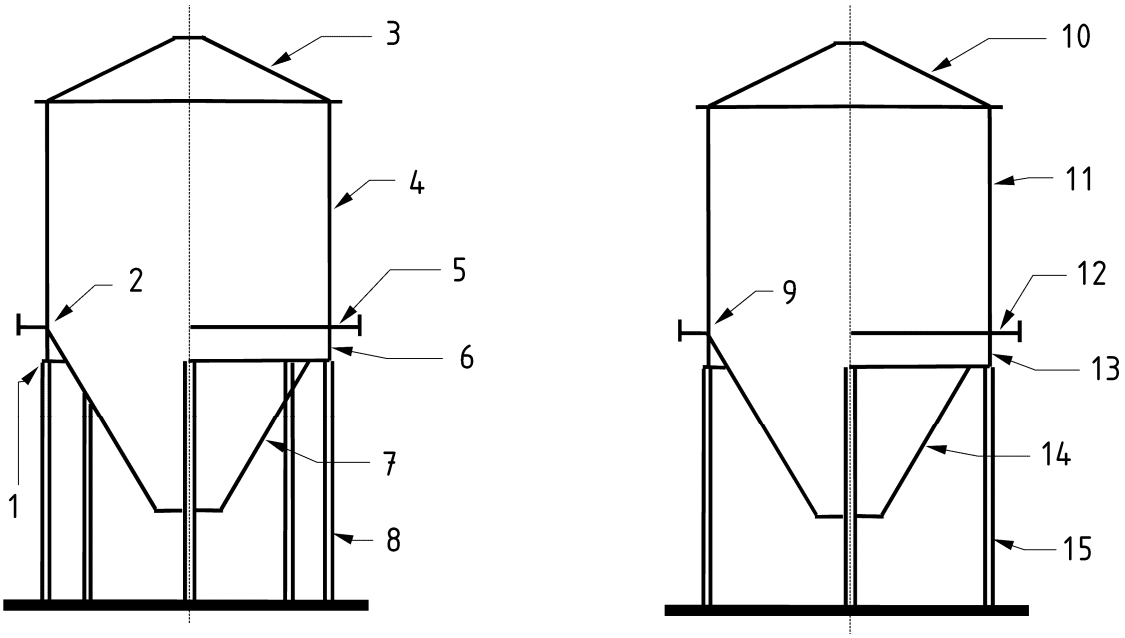
1.5.17 Ringsteife: Eine Ringsteife ist ein örtliches Versteifungsbauteil, das an einem Punkt des Meridians längs des Tragwerkumfangs verläuft. Ihre Steifigkeit in der Meridianebene wird als vernachlässigbar angenommen. Eine Ringsteife soll entweder die Stabilität verbessern oder örtliche Lasten einleiten, sie ist kein Haupttragglied. Bei einer Rotationsschale ist sie kreisförmig, bei einem Kastentragwerk hat sie die rechteckige Form des Grundrisses.

1.5.18 Verschmierte Steifen: Steifen werden als verschmiert bezeichnet, wenn ihre Eigenschaften zusammen mit denen der Schalenwand als ein zusammenhängender Querschnitt behandelt werden, dessen Breite einem ganzen Vielfachen des Steifenabstandes entspricht. Die Schaleneigenschaften einer Wandung mit verschmierten Steifen sind orthotrop. Sie enthalten Exzentrizitätsterme, die eine Kopplung des Biege- und Membranverhaltens zur Folge haben.

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12



Legende

1 Silo endet hier
2 Abzweigung
3 konisches Dach
4 Zylinderschale oder Siloschaft
5 Ringsteife
6 Zarge
7 konischer Trichter
8 Stütze: Unterstützungskonstruktion
9 Abzweigung
10 pyramidisches Dach
11 rechteckiger Kasten
12 Ringsteife
13 Zarge
14 pyramidischer Trichter
15 Stütze: Unterstützungskonstruktion

a) Silo mit kreisrundem Grundriss **b) Silo mit rechteckigem Grundriss**

Bild 1.1 — Bezeichnungen für Silotragwerke

1.5.19 Basisring: Ein Basisring ist ein Bauteil, das der Umfangslinie an der Basis des Tragwerkes folgt und die Möglichkeit bietet, das Tragwerk an das Fundament oder ein anderes Tragwerkselement anzuschließen. Er wird auch benötigt, um die angenommenen Randbedingungen praktisch sicherzustellen.

1.5.20 Ringträger oder **Ringbalken:** Ein Ringträger oder ein Ringbalken ist ein Versteifungsbauteil in Umfangsrichtung, das sowohl in der Ebene des kreisrunden oder rechteckigen Tragwerksquerschnittes als auch rechtwinklig dazu biegesteif und biegefest ist. Er ist ein Haupttragglied zur Verteilung örtlicher Lasten in die Schale oder den Kasten.

1.5.21 kontinuierlich aufgelagert: Bei einem kontinuierlich aufgelagerten Silo sind alle Stellen längs des Umfangs in gleicher Weise unterstützt. Kleine Abweichungen von dieser Bedingung (z. B eine kleine Öffnung) beeinflussen die Anwendbarkeit dieser Definition nicht.

1.5.22 Diskretes Auflager: An einem diskreten Auflager ist der Silo durch eine örtliche Konsole oder Stütze unterstützt, mit einer begrenzten Anzahl schmaler Lagerungen längs des Siloumfangs. Üblicherweise werden vier oder sechs diskrete Auflager verwendet, jedoch kommen auch drei oder mehr als sechs vor.

1.5.23 Pyramidischer Trichter: Ein pyramidischer Trichter wird für einen kastenförmigen Silo mit rechteckigem Grundriss benötigt; er hat die Form einer umgedrehten Pyramide. Seine Geometrie wird in dieser Norm als einfach aus vier ebenen trapezförmigen Wänden gebildet angenommen.

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

1.6 In Teil 4-1 von Eurocode 3 verwendete Symbole

Grundlage der verwendeten Symbole ist ISO 3898:1987.

1.6.1 Lateinische Großbuchstaben

A Querschnittsfläche;

C Membrandehnsteifigkeit;

C Beulkoeffizient;

D Biegesteifigkeit;

E Elastizitätsmodul;

F Kraft;

G Schubmodul;

H Höhe des Tragwerks;

I Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment);

I_t Torsionsträgheitsmoment (Saint Venant'sche Torsion);

K Federsteifigkeit eines Wandbleches für Knicken von Längssteifen;

L Höhe eines Schalensegmentes oder einer Steife;

M Biegemoment;

N Axialkraft;

Q Parameter für die Herstelltoleranz-Qualitätsklasse einer beulgefährdeten Schale;

R_ϕ örtlicher Radius an den Kuppen (Wellenberg bzw. -tal) eines Profilbleches (Wellbleches).

1.6.2 Lateinische Kleinbuchstaben

a Koeffizient;

b Breite einer Platte oder einer Steife;

d Bruttoprofilhöhe eines Profilbleches (Wellbleches);

e Exzentrizität einer Kraft oder einer Steife;

f_y Streckgrenze des Stahls;

f_u Zugfestigkeit des Stahls;

h Flanschabstand eines Ringträgers;

j Faktor für die Verbindungswirksamkeit von geschweißten Überlappstößen, die mit Hilfe der Membranspannung beurteilt werden;

j Ersatz-Harmonische eines veränderlichen Spannungsverlaufs;

ℓ mittragende Länge einer Schale bei der linearen Spannungsberechnung;

ℓ Wellenlänge der Profilierung in Profilblechen;

ℓ Halbwellenlänge einer potenziellen Beule (bei der Berechnung zu berücksichtigende Höhe);

m Biegemoment je Längeneinheit;

m_x Meridianbiegemoment je Umfangslängeneinheit;

m_y Umfangsbiegemoment je Meridianlängeneinheit eines Kastens;

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

m_θ Umfangsbiegemoment je Meridianlängeneinheit einer Schale;

m_{xy} Drillmoment je Längeneinheit eines Kastens;

$m_{x\theta}$ Drillmoment je Längeneinheit einer Schale;

n Membrankraft;

n Anzahl von diskreten Auflagerungen am Siloumfang;

n_x Membrannormalkraft in Meridianrichtung je Umfangslängeneinheit;

n_y Membrannormalkraft in Umfangsrichtung je Meridianlängeneinheit eines Kastens;

n_θ Membrannormalkraft in Umfangsrichtung je Meridianlängeneinheit einer Schale;

n_{xy} Membranschubkraft je Längeneinheit eines Kastens;

$n_{x\theta}$ Membranschubkraft je Längeneinheit einer Schale;

p flächenhaft verteilte Belastung (Druck);

p_n Druck rechtwinklig zur Schalenmittelfläche (nach außen gerichtet);

p_x Flächenlast tangential zur Schalenmittelfläche in Meridianrichtung (abwärts gerichtet);

p_θ Flächenlast tangential zur Schalenmittelfläche in Umfangsrichtung (im Gegenuhrzeigersinn);

q Querbelastung auf einem Zuganker in einem Kastensilo (Linienlast je Längeneinheit);

r Radialkoordinate in einem Silo mit kreisrundem Grundriss;

r Radius der Schalenmittelfläche;

s Steifenabstand in Umfangsrichtung;

t Wanddicke;

t_x, t_y Ersatzwanddicke eines Profilbleches für die Dehnung in x- bzw. y-Richtung;

w Imperfektionsamplitude;

w radiale Durchbiegung;

x örtliche Meridiankoordinate;

y örtliche Umfangskoordinate;

z globale Axialkoordinate;

z Koordinate längs der vertikalen Achse einer Rotationsschale.

1.6.3 Griechische Buchstaben

α Faktor für elastische Imperfektionsabminderung beim Beulsicherheitsnachweis (elastischer Imperfektions-Abminderungsfaktor);

α Wärmedehnungskoeffizient;

β halber Kegelöffnungswinkel eines konischen Trichters;

γ_F Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen;

γ_M Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand;

δ Grenzwert für die Durchbiegung;

Δ Inkrement;

χ Abminderungsfaktor für Biegeknicken;

NormCD - Stand 2011-01
Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

χ Abminderungsfaktor für Schalenbeulen;

λ Halbwellenlänge für Schalenbiegung;

$\bar{\lambda}$ bezogener Schlankheitsgrad einer Schale;

μ Wandreibungskoeffizient;

ν Querkontraktionszahl (Poissonzahl);

θ Umfangskoordinate einer Schale;

σ Normalspannung;

σ_{bx} Meridianbiegespannung;

σ_{by} Umfangsbiegespannung in einem Kasten;

$\sigma_{b\theta}$ Umfangsbiegespannung in einer Schale;

τ_{bxy} Drillschubspannung in einem Kasten;

$\tau_{bx\theta}$ Drillschubspannung in einer Schale;

σ_{mx} Meridianmembranspannung;

σ_{my} Umfangsmembranspannung in einem Kasten;

$\sigma_{m\theta}$ Umfangsmembranspannung in einer Schale;

τ_{mxy} Schubmembranspannung in einem Kasten;

$\tau_{mx\theta}$ Schubmembranspannung in einer Schale;

σ_{sox} Oberflächenspannung in Meridianrichtung (außen);

σ_{soy} Oberflächenspannung in Umfangsrichtung (außen) in einem Kasten;

$\sigma_{so\theta}$ Oberflächenspannung in Umfangsrichtung (außen) in einer Schale;

τ_{soxy} Oberflächenschubspannung in einem Kasten;

$\tau_{sox\theta}$ Oberflächenschubspannung in einer Schale;

τ Schubspannung;

ω dimensionsloser Parameter beim Beulsicherheitsnachweis;

ω Neigung eines konischen Trichters mit nichtvertikaler Achse;

ψ Parameter für die Ungleichmäßigkeit eines Spannungsverlaufes.

1.6.4 Indizes

E Spannung oder Verschiebung (als Folge von Bemessungseinwirkungen);

F Einwirkungen;

M Werkstoff/Material;

R Widerstand;

S Schnittgröße (als Folge von Bemessungseinwirkungen);

b Biegung;

c Zylinder;

cr idealer Beulwert;

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

d Bemessungswert;

eff effektiv;

h Trichter;

m Membran, Feldmitte;

min kleinster zulässiger Wert;

n rechtwinklig zur Wandung;

p Druck;

r radial;

s Zarge, Auflagerung;

s Oberflächenspannung (o – Außenseite, i – Innenseite);

u Traglastwert;

w parallel zur Wandung in Meridianrichtung (Wandreibung);

x in Meridianrichtung;

y in Umfangsrichtung (Kastentragwerk), Fließwert;

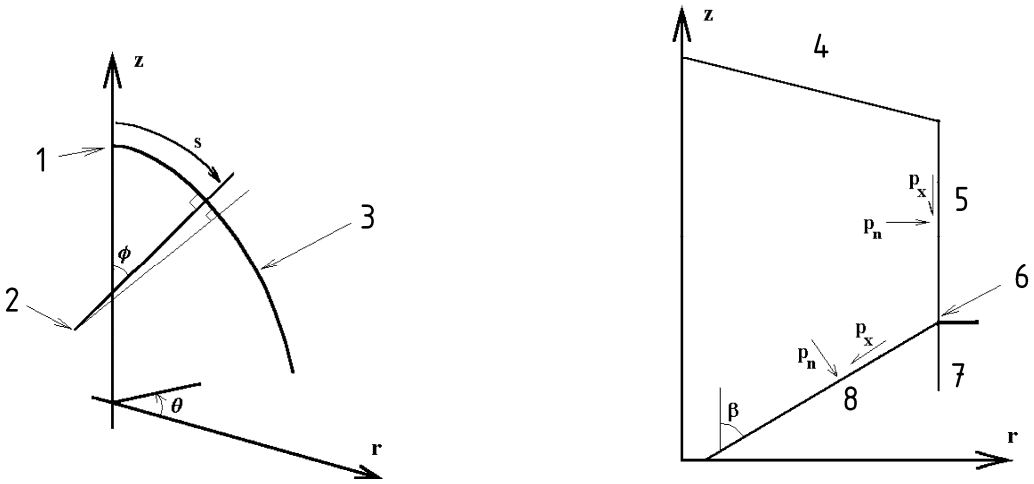
z in Axialrichtung;

θ in Umfangsrichtung (Rotationsschale).

1.7 Vorzeichenvereinbarungen

1.7.1 Vereinbarungen für das globale Koordinatensystem für kreisrunde Silos

(1) Die folgende Vorzeichenvereinbarung gilt für das gesamte Silotragwerk; sie berücksichtigt, dass der Silo kein ‚Bauteil' ist.



Legende

1 Pol
2 Mittelpunkt der Meridiankrümmung
3 Schalenmeridian
4 Dach
5 Schaft
6 Abzweigung
7 Zarge
8 Trichter

a) Globales Koordinatensystem **b) Silo-Schalenkoordinaten und Belastung: Schnitt**

Bild 1.2 — Koordinatensysteme für ein kreisrundes Silo

NormCD - Stand 2011-01
Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

(2) In der Regel werden für das globale Koordinatensystem des Silotragwerkes Zylinderkoordinaten wie folgt vereinbart (siehe Bild 1.2):

Koordinatensystem

Koordinate längs der Achse einer Rotationsschale	z
Radialkoordinate	r
Umfangskoordinate	θ

(3) Die Vereinbarung für positive Vorzeichen lautet wie folgt:

Nach außen gerichtet positiv (Innendruck positiv, Verschiebungen nach außen positiv)

Zugspannungen positiv (ausgenommen Beulformeln, in denen Druck positiv ist)

(4) Die Vereinbarung für flächenhaft verteilte Einwirkungen auf die Silowand lautet wie folgt:

Druck rechtwinklig zur Schalenwand (nach außen gerichtet positiv)	p_{n}
Oberflächenlast in Meridianrichtung parallel zur Schalenwand (nach unten gerichtet positiv)	p_{x}
Oberflächenlast in Umfangsrichtung parallel zur Schalenwand (im Gegenuhrzeigersinn positiv)	p_{θ}

1.7.2 Vereinbarungen für das globale Koordinatensystem für rechteckige Silos

(1) Die folgende Vorzeichenvereinbarung gilt für das gesamte Silotragwerk; sie berücksichtigt, dass der Silo kein Bauteil ist.

(2) In der Regel werden für das globale Koordinatensystem des Silotragwerkes kartesische Koordinaten x, y, z vereinbart, wobei z die vertikale Richtung beschreibt, siehe Bild 1.3.

(3) Die Vereinbarung für positive Vorzeichen lautet wie folgt:

Nach außen gerichtet positiv (Innendruck positiv, Verschiebungen nach außen positiv)

Zugspannungen positiv (ausgenommen Beulformeln, in denen Druck positiv ist)

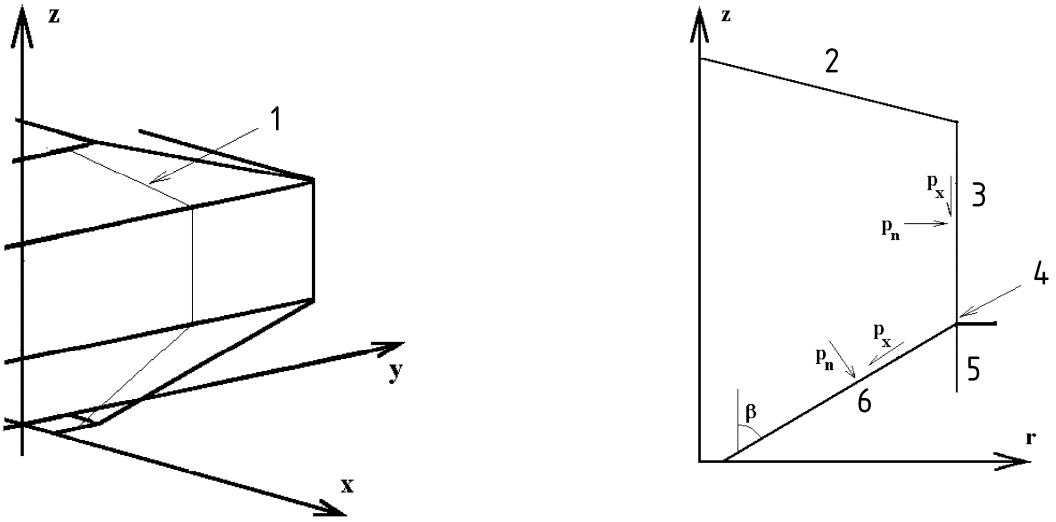
(4) Die Vereinbarung für flächenhaft verteilte Einwirkungen auf die Silowand lautet wie folgt:

Druck rechtwinklig zur Schalenwand (nach außen gerichtet positiv)	p_{n}
Oberflächenlast in Meridianrichtung parallel zur Kastenwand (nach unten gerichtet positiv)	p_{x}
Oberflächenlast in Umfangsrichtung in der Ebene des Kastenquerschnittes (im Gegenuhrzeigersinn positiv)	p_{y}

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12



Legende

1 Kastenmeridian
2 Dach
3 Schaft
4 Abzweigung
5 Zarge
6 Trichter

a) AC Globales Koordinatensystem AC

b) Silo-Kastenkoordinaten und Belastung: Schnitt

Bild 1.3 — Koordinatensysteme für ein rechteckiges Silo

1.7.3 Vereinbarungen für die Koordinaten von Bauteilen in kreisrunden und rechteckigen Silos

(1) Die Vereinbarung für Bauteile, die an die Silowand angeschlossen sind (siehe Bilder 1.4 und 1.5), ist unterschiedlich, je nachdem, ob das Bauteil in Meridianrichtung oder in Umfangsrichtung verläuft.

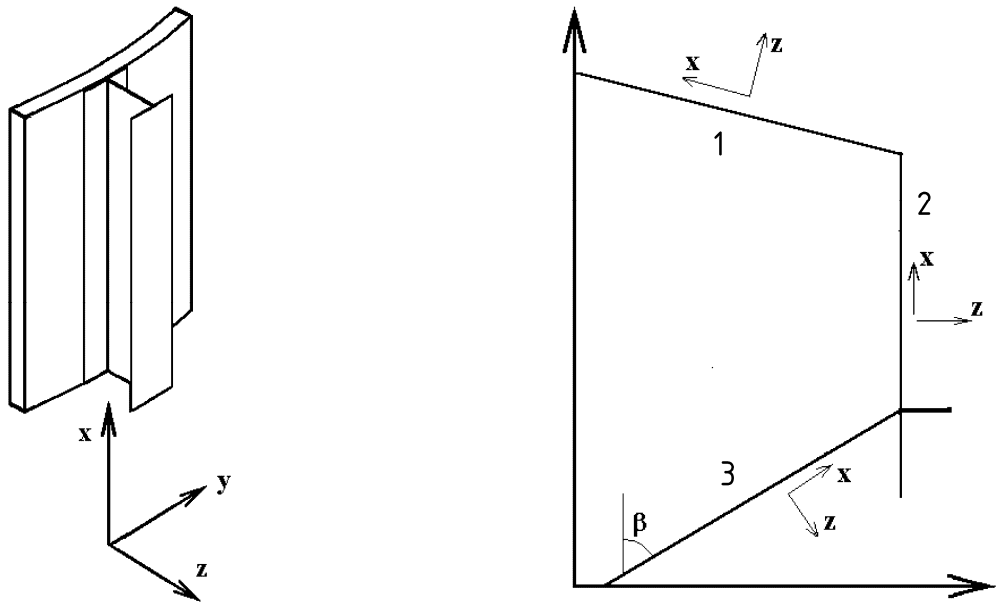
(2) Für gerade Bauteile in Meridianrichtung an Schalen- oder Kastensilowänden (siehe Bild 1.4a) lautet die Vereinbarung:

Meridiankoordinate für Bauteile am Siloschaft, am Trichter und am Dach	x
Starke Querschnittsachse (parallel zu den Flanschen: Achse für Meridianbiegung)	y
Schwache Querschnittsachse (rechtwinklig zu den Flanschen)	z

ANMERKUNG Eine Längssteife, die in Übereinstimmung mit der Meridianbiegung des Zylinders biegebeansprucht wird (m_x), verbiegt sich um die y-Querschnittsachse der Steife.

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12



Legende

1 Dach
2 Schaft
3 Trichter

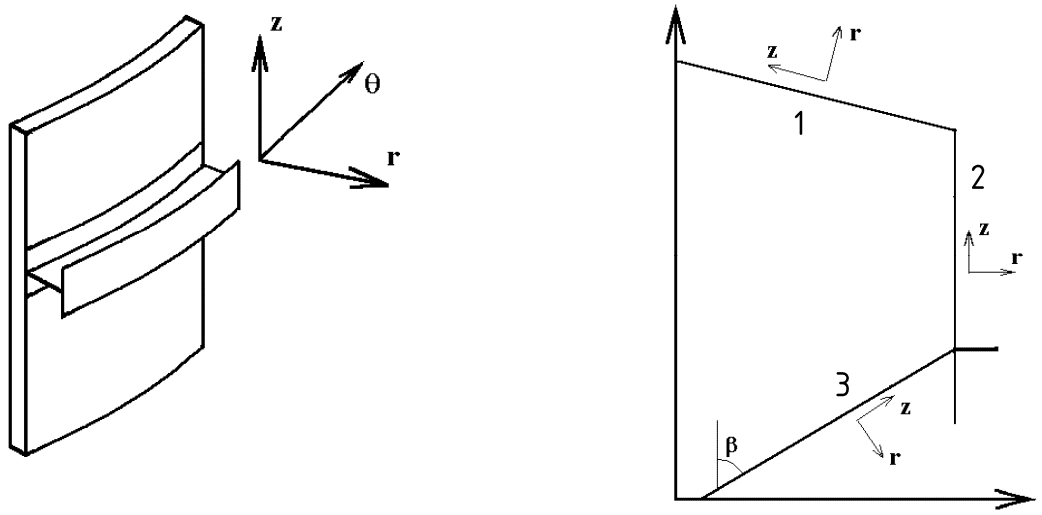
a) Steife und Biegeachsen **b) örtliche Achsen in verschiedenen Teilen**

Bild 1.4 — Lokale Koordinatensysteme für Längssteifen an einer Schale oder an einem Kasten

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12



Legende

1 Dach
2 Schaft
3 Trichter

a) Steife und Biegeachsen **b) örtliche Achsen in verschiedenen Teilen**

Bild 1.5 — Lokale Koordinatensysteme für Ringsteifen an einer Schale oder an einem Kasten

(3) Für gekrümmte Bauteile in Umfangsrichtung an einer Schalenwand (siehe Bild 1.5a) lautet die Vereinbarung:

Achse in Umfangsrichtung (gekrümmt)	θ
Radiale Querschnittsachse (für Biegung in der Vertikalebene)	r
Vertikale Querschnittsachse (für Umfangsbiegung)	z

ANMERKUNG Eine gekrümmte Ringsteife, die in Übereinstimmung mit der Umfangsbiegung des Zylinders biegebeansprucht wird (m_θ), verbiegt sich um ihre vertikale z-Querschnittsachse. Fungiert sie als Ringträger oder Ringbalken, oder ist sie radialen Kräften ausgesetzt, die exzentrisch zur Ringachse angreifen, so verbiegt sie sich um ihre radiale r-Querschnittsachse.

(4) Für gerade Bauteile in Umfangsrichtung an einer Kastenwand lautet die Vereinbarung:

Achse in Umfangsrichtung	x
Horizontale Querschnittsachse	y
Vertikale Querschnittsachse	z

ANMERKUNG Eine gerade Ringsteife, die aus der Ebene der Kastenwand heraus biegebeansprucht wird (was der Normalfall ist), verbiegt sich um ihre vertikale z-Querschnittsachse.

1.7.4 Vereinbarungen für Schnittgrößen in kreisrunden und rechteckigen Silos

(1) Die Vereinbarung für die Indizierung von Membrankräften lautet wie folgt:

Der Index beschreibt die Richtung, in der die Kraft Normalspannungen erzeugt.

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

Membrankräfte:

n_x	Membrankraft in Meridianrichtung
n_θ	Membrankraft in Umfangsrichtung bei Schalen
n_y	Membrankraft in Umfangsrichtung bei Kästen
n_{xy} oder $n_{x\theta}$	Membranschubkräfte

Membranspannungen:

σ_{mx}	Membranspannung in Meridianrichtung
$\sigma_{m\theta}$	Membranspannung in Umfangsrichtung bei Schalen
σ_{my}	Membranspannung in Umfangsrichtung bei Kästen
τ_{mxy} oder $\tau_{mx\theta}$	Membranschubspannungen

(2) Die Vereinbarung für die Indizierung von Momenten lautet wie folgt:

Der Index beschreibt die Richtung, in der das Moment Normalspannungen erzeugt.

ANMERKUNG Diese Vereinbarung für Platten und Schalen unterscheidet sich von derjenigen für Träger und Stäbe, wie sie in den Eurocode 3-Teilen 1-1 und 1-3 verwendet wird. Darauf ist bei Verwendung der Teile 1-1 und 1-3 in Verbindung mit diesen Regeln sorgfältig zu achten.

Biegemomente:

m_x	Biegemoment in Meridianrichtung je Längeneinheit
m_θ	Biegemoment in Umfangsrichtung je Längeneinheit bei Schalen
m_y	Biegemoment in Umfangsrichtung bei Kästen
m_{xy} oder $m_{x\theta}$	Drillmoment je Längeneinheit

Biegespannungen:

σ_{bx}	Biegespannung in Meridianrichtung
$\sigma_{b\theta}$	Biegespannung in Umfangsrichtung bei Schalen
σ_{by}	Biegespannung in Umfangsrichtung bei Kästen
τ_{bxy} oder $\tau_{bx\theta}$	Drillschubspannung

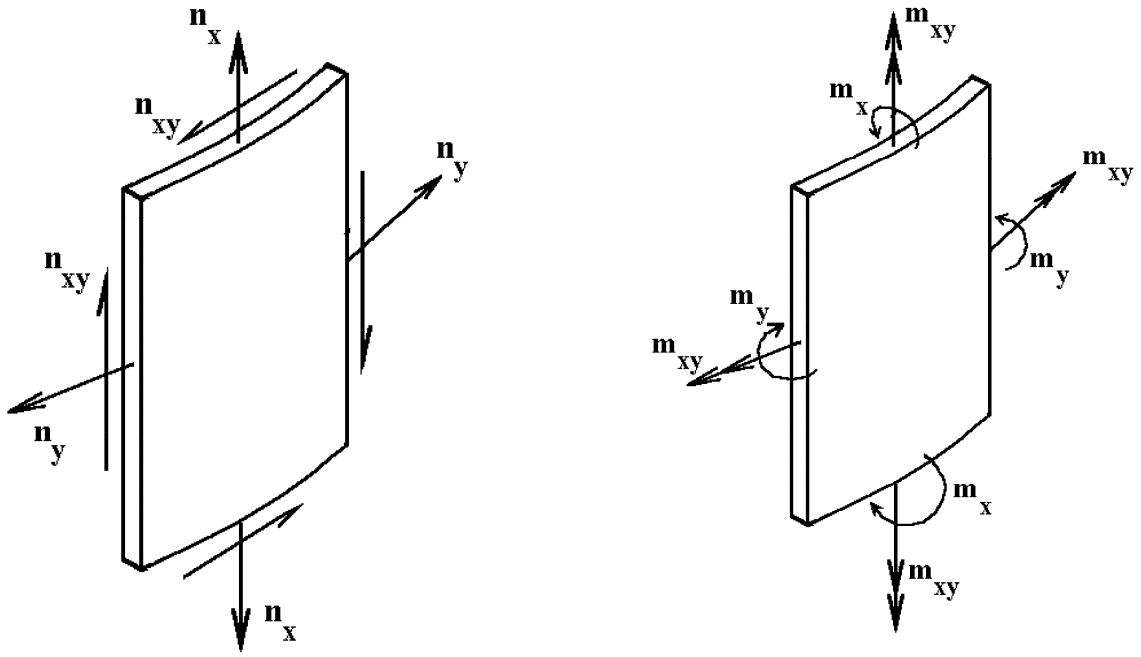
Innere und äußere Oberflächenspannungen:

σ_{six}, σ_{sox}	innere bzw. äußere Oberflächenspannung in Meridianrichtung bei Kästen und Schalen
$\sigma_{si\theta}$, $\sigma_{so\theta}$	innere bzw. äußere Oberflächenspannung in Umfangsrichtung bei Schalen
$\tau_{six\theta}$, $\tau_{sox\theta}$	innere bzw. äußere Oberflächenschubspannung bei Schalen
σ_{siy}, σ_{soy}	innere bzw. äußere Oberflächenspannung in Umfangsrichtung bei Kästen
τ_{sixy}, τ_{soxy}	innere bzw. äußere Oberflächenschubspannung bei Kästen

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12



a) Membrankräfte **b) Momente**

Bild 1.6 — Schnittgrößen in Schalen- und Kastensilowänden

1.8 Einheiten

(1)P SI-Einheiten sind in Übereinstimmung mit ISO 1000 zu verwenden.

(2) Für die Berechnungen werden folgende konsistente Einheiten empfohlen:

— Abmessungen und Dicken	:	m	mm
— spezifisches Gewicht (Wichte)	:	kN/m^3	N/mm^3
— Kräfte und Lasten	:	kN	N
— Linienkräfte und Linienlasten	:	kN/m	N/mm
— Drücke und Flächenlasten	:	kPa	MPa
— spezifische Masse (Dichte)	:	kg/m^3	kg/mm^3
— Beschleunigung	:	km/s^2	m/s^2
— Membrankräfte	:	kN/m	N/mm
— Biegemomente	:	kNm/m	Nmm/mm
— Spannungen und Elastizitätsmoduli	:	kPa	MPa (= N/mm^2)

2 Grundlagen der Bemessung

2.1 Anforderungen

(1)P Ein Silo ist so zu entwerfen, zu bemessen, zu konstruieren und zu unterhalten, dass die Anforderungen von EN 1990, Abschnitt 2 und die nachfolgend aufgeführten ergänzenden Anforderungen erfüllt werden.

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

(2) Das Silotragwerk sollte alle schalen- und plattenförmigen Tragwerksteile sowie Steifen, Rippen, Ringe und Anschlussteile einschließen.

(3) Die Unterstützungskonstruktion sollte nicht als Teil des Silotragwerks angesehen werden. Die Grenze zwischen dem Silo und seiner Unterstützung ist in Anlehnung an Bild 1.1 festzulegen. Analog dazu gelten andere Komponenten, die ihrerseits vom Silo unterstützt werden, als dort beginnend, wo die Silowand oder das Anschlussteil endet.

(4) Silos sollten so entworfen und bemessen werden, dass sie erforderlichenfalls im Hinblick auf ihre vorgesehene Verwendung schadenstolerant sind.

(5) Besondere Anforderungen für spezielle Anwendungen dürfen zwischen dem Tragwerksplaner, dem Bauherrn und der zuständigen Behörde vereinbart werden.

2.2 Differenzierung der Zuverlässigkeit

(1) Zur Differenzierung der Zuverlässigkeit siehe EN 1990.

ANMERKUNG In den Nationalen Anhängen dürfen Schadensfolgeklassen für Silos in Abhängigkeit vom Standort, von der Art der Füllung und Belastung, der Art und Größe des Tragwerks und der Art des Betriebs festgelegt werden.

(2) In Abhängigkeit von der gewählten Schadensfolgeklasse, des Tragwerkssystems und der Anfälligkeit für verschiedene Versagensarten sollte bei der Bemessung von Silotragwerken nach unterschiedlichen Schärfeniveaus differenziert werden.

(3) In dieser Norm kommen drei Schadensfolgeklassen zur Anwendung. Mit den Anforderungen dieser Klassen wird ein prinzipiell gleiches Risikoniveau der Tragwerke angestrebt, und es werden Kosten und Aufwand berücksichtigt, die bei den verschiedenen Tragwerken für eine Reduzierung der Versagenswahrscheinlichkeit erforderlich sind: Schadensfolgeklassen 1, 2 und 3.

ANMERKUNG 1 Der nationale Anhang kann Angaben über die Schadensfolgeklassen enthalten. Tabelle 2.1 enthält ein Beispiel für die Einteilung von zwei Parametern – Größenordnung und Art des Betriebs – in Schadensfolgeklassen, wenn alle anderen Parameter mittlere Folgen haben, siehe EN 1990, B.3.1.

Tabelle 2.1 — Schadensfolgeklassen in Abhängigkeit von Größenordnung und Betrieb

Schadensfolgeklasse	Bemessungssituationen
Schadensfolgeklasse 3	Bodengelagerte Silos oder Silos mit bis zum Boden reichender Standzarge, mit einer Speicherkapazität von mehr als W_{3a} Tonnen Diskret gelagerte Silos mit einer Speicherkapazität von mehr als W_{3b} Tonnen Silos mit einer Speicherkapazität von mehr als W_{3c} Tonnen, bei denen eine der folgenden Bemessungssituationen vorliegt: a) exzentrisches Entleeren b) örtliche Teilflächenbelastung c) unsymmetrisches Befüllen
Schadensfolgeklasse 2	Alle Silos, für die diese Norm gilt und die nicht in eine andere Klasse eingeordnet sind
Schadensfolgeklasse 1	Silos mit einer Speicherkapazität zwischen W_{1a} Tonnen[a] und W_{1b} Tonnen
[a] Silos mit weniger als W_{1a} Tonnen Speicherkapazität sind nicht Gegenstand dieser Norm.	

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

Es werden folgende Grenzwerte für die Klassen empfohlen:

Grenzwert der Klasse	Empfohlener Wert (Tonnen)
W_{3a}	5 000
W_{3b}	1 000
W_{3c}	200
W_{1b}	100
W_{1a}	10

ANMERKUNG 2 Zur Einteilung in die Anforderungsklassen für Einwirkungen, siehe EN 1991-4.

(4) Es darf stets eine höhere Schadensfolgeklasse gewählt werden, als gefordert ist.

(5)P Die Wahl der niedrigsten Schadensfolgeklasse muss einvernehmlich zwischen Tragwerksplaner, Bauherrn und zuständiger Behörde erfolgen.

(6) Die Einordnung in Schadensfolgeklasse 3 aufgrund des Kriteriums ‚örtliche Teilflächenbelastung' bezieht sich auf Silolastfälle, die nach EN 1991-4 eine Teilflächenbelastung über weniger als den halben Siloumfang verursachen.

(7) Für Schadensfolgeklasse 1 dürfen vereinfachte Regeln angewendet werden.

ANMERKUNG Geeignete Regeln für Schadensfolgeklasse 1 sind in Anhang A angegeben.

2.3 Grenzzustände

(1) Für diesen Teil 4-1 gelten die in EN 1993-1-6 definierten Grenzzustände.

2.4 Einwirkungen und Umwelteinflüsse

2.4.1 Allgemeines

(1)P Es gelten die allgemeinen Anforderungen nach EN 1990, Abschnitt 4.

2.4.2 Windlast

(1) Windlasten, die für Silos in Einzel- und Gruppenaufstellung in EN 1991-1-4 nicht festgelegt sind, sollten in Form zusätzlicher Informationen vereinbart werden.

(2) Da diese großen leichten Konstruktionen empfindlich gegenüber der genauen Verteilung des Winddrucks auf der Wand sind, müssen die Basis-Winddaten in EN 1991-1-4 für die speziellen Bedürfnisse einzelner Konstruktionen durch zusätzliche Informationen vervollständigt werden. Das bezieht sich sowohl auf den Beulsicherheitsnachweis für den leeren Silo als auch auf den Nachweis der Verankerung auf dem Fundament.

ANMERKUNG Geeignete zusätzliche Informationen über Winddruckverteilungen werden in Anhang C gegeben.

2.4.3 Kombination von Schüttgutlasten mit anderen Einwirkungen

(1)P Es gelten die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen auf Silos nach 2.9.2.

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

2.5 Werkstoffeigenschaften

(1) Es gelten die allgemeinen Anforderungen an Werkstoffeigenschaften nach EN 1993-1-1.

(2) Darüber hinaus gelten die speziellen Eigenschaften der Werkstoffe für Silos, die in Abschnitt 3 dieses Teils 4-1 angegeben werden.

2.6 Abmessungen

(1)P Es gelten die in EN 1990, Abschnitt 6 enthaltenen Angaben zu den Abmessungen.

(2) Es gelten außerdem die zusätzlichen speziellen Angaben für Schalentragwerke in EN 1993-1-6.

(3) Als Schalenwanddicke ist in der Regel die Nennblechdicke einzusetzen. Bei feuerverzinktem Stahlblech nach [AC] EN 10149 [AC] ist das der Nennwert der Kerndicke, der sich als Differenz aus Nenn-Gesamtdicke und Zinkschichtdicke auf beiden Oberflächen ergibt.

(4) Der Einfluss von Korrosion und Abrasion auf die Silowanddicke ist in der Regel nach 4.1.4 bei der Bemessung zu berücksichtigen.

2.7 Modellierung des Silos zur Berechnung der Beanspruchungen

(1)P Es gelten die allgemeinen Anforderungen nach EN 1990, Abschnitt 7.

(2) Außerdem gelten die speziellen Angaben für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis, die in den Abschnitten 4 bis 9 dieses Teils 4-1 für jeden Tragwerksteil gemacht werden.

(3) Darüber hinaus gelten für den Tragsicherheitsnachweis die in den Abschnitten 4 bis 9 dieses Teils 4-1 und ausführlicher in EN 1993-1-6 und EN 1993-1-7 angegebenen speziellen Anforderungen.

2.8 Versuchsgestützte Bemessung

(1) Es gelten die allgemeinen Anforderungen nach EN 1990, Anhang D.

(2) Für Silos, die ‚Bauprodukte' sind (Werksfertigung) und die großmaßstäblichen Versuchen unterworfen werden, dürfen vereinfachte Kriterien für Bemessungszwecke verwendet werden.

2.9 Beanspruchungen für den Nachweis der Grenzzustände

2.9.1 Allgemeines

(1)P Es gelten die allgemeinen Anforderungen nach EN 1990, Abschnitt 9.

2.9.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Grenzzustände der Tragfähigkeit

2.9.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Silos

(1)P Für quasi-ständige, häufige und außergewöhnliche Bemessungssituationen gelten die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F nach EN 1990 und EN 1991-4.

(2) Teilsicherheitsbeiwerte für Silos, die ‚Bauprodukte' sind (Werksfertigung), dürfen von den zuständigen Behörden festgelegt werden.

ANMERKUNG Bei Anwendung auf Silos, die ‚Bauprodukte' sind, sind die Beiwerte in Absatz (1) nur Richtwerte. Ihre Angabe dient der Darstellung des geeigneten Niveaus, das für eine mit anderen Bemessungen verträgliche Zuverlässigkeit benötigt wird.

NormCD - Stand 2011-01

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

2.9.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte für den Widerstand

(1) Für die versuchsmäßige Ermittlung von Trageigenschaften gelten die Anforderungen und Verfahrensweisen nach EN 1990.

(2) Der Ermüdungssicherheitsnachweis ist nach EN 1993-1-6, Abschnitt 9 zu führen.

(3) Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für verschiedene Grenzzustände sind Tabelle 2.2 zu entnehmen.

Tabelle 2.2 — Teilsicherheitsbeiwerte für den Widerstand

Widerstand gegen Versagensart	Relevantes γ
Widerstand einer geschweißten oder geschraubten Silowand gegen plastisches Versagen	γ_{M0}
Widerstand einer Silowand gegen Beulen	γ_{M1}
Widerstand einer geschweißten oder geschraubten Silowand gegen Zugbruch	γ_{M2}
Widerstand einer Silowand gegen zyklisches Plastizieren	γ_{M4}
Widerstand von Verbindungen	γ_{M5}
Widerstand einer Silowand gegen Ermüdung	γ_{M6}

ANMERKUNG Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für Silos dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Zu den Werten für γ_{M5} enthält EN 1993-1-8 weitere Angaben. Zu den Werten für γ_{M6} enthält EN 1993-1-9 weitere Angaben. Für Silos werden die folgenden Zahlenwerte empfohlen:

$\gamma_{M0} = 1{,}00$	$\gamma_{M1} = 1{,}10$	$\gamma_{M2} = 1{,}25$
$\gamma_{M4} = 1{,}00$	$\gamma_{M5} = 1{,}25$	$\gamma_{M6} = 1{,}10$

Für die weitere Differenzierung siehe 2.2 (1) und 2.2 (3).

2.9.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

(1) Wenn in den entsprechenden Abschnitten vereinfachte Regeln zum Erreichen ausreichender Gebrauchstauglichkeit gegeben werden, brauchen keine detaillierten Berechnungen mit Einwirkungskombinationen durchgeführt werden.

2.10 Dauerhaftigkeit

(1) Es gelten die allgemeinen Anforderungen nach EN 1990, Abschnitt 2.6.

2.11 Feuerwiderstand

(1) Es gelten die Bestimmungen für Feuerwiderstand in EN 1993-1-2.

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

3 Werkstoffeigenschaften

3.1 Allgemeines

(1) Für Silos sollten nur schweißgeeignete Stähle eingesetzt werden, um bei Bedarf nachträgliche Änderungen zu ermöglichen.

(2) Für kreisrunde Silos sollten nur Stähle eingesetzt werden, die für das Kaltumformen zu gekrümmten Wandsegmenten oder zu gekrümmten Bauteilen geeignet sind.

(3) Die in diesem Abschnitt angegebenen Werkstoffeigenschaften (siehe EN 1993-1-1, Tabelle 3.1 und EN 1993-1-3, Tabelle 3.1b) sollten als Nennwerte betrachtet werden, die bei der Bemessung als charakteristische Werte in die Berechnung einzuführen sind.

(4) Weitere Werkstoffeigenschaften sind in den in EN 1993-1-1 angegebenen einschlägigen Bezugsnormen zu finden.

(5) Falls der Silo mit heißen Schüttgütern gefüllt werden kann, sollten die Werte der Werkstoffeigenschaften entsprechend den zu erwartenden Höchsttemperaturen reduziert werden.

(6) Falls höhere Temperaturen als 100 °C zu erwarten sind, sollten die Werkstoffeigenschaften EN 13084-7 entnommen werden.

3.2 Baustähle

(1) Die in diesem Teil 4-1 von EN 1993 angegebenen rechnerischen Bemessungsmethoden gelten für Baustähle nach EN 1993-1-1, die mit den in Tabelle 3.1 aufgelisteten Europäischen und Internationalen Normen übereinstimmen.

(2) Die mechanischen Eigenschaften von Baustählen nach EN 10025 oder EN 10149 sollten EN 1993-1-1, EN 1993-1-3 und EN 1993-1-4 entnommen werden.

(3) Korrosions- und Abrasionszuschläge sind in Abschnitt 4 dieses Teils 4-1 angegeben.

(4) In der Regel darf angenommen werden, dass die Stahleigenschaften für Zugbeanspruchung dieselben sind wie für Druckbeanspruchung.

(5) Für die durch diesen Teil 4-1 von EN 1993 abgedeckten Stähle sollten die Bemessungswerte des Elastizitätsmoduls mit $E = 210\,000$ MPa und der Querkontraktionszahl (Poissonzahl) mit $\nu = 0{,}30$ angesetzt werden.

3.3 Nichtrostende Stähle

(1) Die mechanischen Eigenschaften von nichtrostenden Stählen sollten EN 1993-1-4 entnommen werden.

(2) Hinweise zur Auswahl von im Hinblick auf die Korrosions- und Abrasionseinflüsse des Schüttgutes geeigneten nichtrostenden Stählen dürfen den einschlägigen Quellen entnommen werden.

(3) Falls die Bemessung Beulberechnungen umfasst, sollten entsprechend reduzierte Werte der mechanischen Eigenschaften angesetzt werden (siehe EN 1993-1-6).

3.4 Spezielle legierte Stähle

(1) Für nicht genormte legierte Stähle sollten geeignete Werte für die maßgebenden mechanischen Eigenschaften festgelegt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Angaben zu den geeigneten Werten enthalten.

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

(2) Hinweise zur Auswahl von im Hinblick auf die Korrosions- und Abrasionseinflüsse des Schüttgutes geeigneten speziellen legierten Stählen sollten einschlägigen Quellen entnommen werden.

(3) Falls die Bemessung Beulberechnungen umfasst, sollten entsprechend reduzierte Werte der mechanischen Eigenschaften angesetzt werden (siehe EN 1993-1-6).

3.5 Anforderungen an die Zähigkeit

(1) Die Anforderungen an die Zähigkeit der Stähle sollten nach EN 1993-1-10 ermittelt werden.

4 Grundlagen für die statische Berechnung

4.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit

4.1.1 Basis

(1) Stählerne Tragwerke und Tragwerksteile sollten so dimensioniert werden, dass die grundlegenden Anforderungen an die Bemessung nach Abschnitt 2 erfüllt sind.

4.1.2 Zu führende Nachweise

(1)P Die Bemessung muss für jeden in Frage kommenden Grenzzustand die folgende Bedingung erfüllen:

$$S_{\mathrm{d}} < R_{\mathrm{d}} \tag{4.1}$$

Dabei sind S und R die jeweils relevanten Parameter.

4.1.3 Ermüdung und zyklisches Plastizieren — Kurzzeitermüdung

(1) Teile des Tragwerks, die größeren örtlichen Biegebeanspruchungen unterworfen sind, sollten bei Bedarf gegen auf die Grenzzustände ‚Ermüdung' und ‚Zyklisches Plastizieren' nach EN 1993-1-6 bzw. EN 1993-1-7 nachgewiesen werden.

(2) Für Silos der Schadensfolgeklasse 1 entfallen die Nachweise nach (1).

4.1.4 Berücksichtigung von Korrosion und Abrasion

(1) Bei der Festlegung der effektiven Wanddicke für die Berechnung sollten die Abrasionseffekte des Schüttgutes an der Silowandung über die Lebensdauer des Tragwerks berücksichtigt werden.

(2) Sind keine spezifischen Informationen vorhanden, sollte für alle Bereiche, die Kontakt mit rutschendem Schüttgut haben, ein Wanddickenverlust von Δt_{a} infolge Abrasion angenommen werden.

ANMERKUNG Der Wert von Δt_{a} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\Delta t_{\mathrm{a}} = 2$ mm empfohlen.

(3) Bei der Festlegung der effektiven Wanddicke für die Berechnungen sollten die Korrosionseffekte des Schüttgutes im Kontakt mit der Silowandung berücksichtigt werden.

(4) Dem vorgesehenen Verwendungszweck entsprechende spezielle Werte für die Korrosions- und Abrasionsverluste sollten zwischen dem Tragwerksplaner, dem Bauherrn und der zuständigen Behörde vereinbart werden; dabei sind der Verwendungszweck und die Beschaffenheit des zu speichernden Schüttgutes zu beachten.

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

ANMERKUNG 1 Im Nationalen Anhang dürfen angemessene Werte für die Korrosions- und Abrasionsverluste für bestimmte Schüttgüter im Reibungskontakt mit bestimmten Silowandungswerkstoffen, angegeben werden, die die in EN 1991-4 definierte Schüttgutfließart berücksichtigen.

ANMERKUNG 2 Um sicherzustellen, dass die Bemessungsannahmen beim Betrieb eingehalten werden, sind geeignete Inspektionsmaßnahmen festzulegen.

4.1.5 Berücksichtigung von Temperatureinflüssen

(1) Bei heißem Schüttgut sollten die Einflüsse von Temperaturdifferenzen zwischen Tragwerksteilen, die Kontakt mit dem heißen Material haben, und solchen, die bereits abgekühlt sind, bei der Berechnung der Spannungsverteilung in der Silowandung berücksichtigt werden.

4.2 Berechnung des Schalentragwerks eines kreisrunden Silos

4.2.1 Modellierung der Tragwerksschale

(1) Die Tragwerksschale sollte nach den Anforderungen von EN 1993-1-6 modelliert werden. Diese gelten bei Befolgung nachstehender Regeln als erfüllt.

(2) Das Tragwerksmodell sollte alle Steifen, großen Öffnungen und Anschlussteile enthalten.

(3) Die Bemessung sollte sicherstellen, dass die angenommenen Randbedingungen eingehalten werden.

4.2.2 Berechnungsmethoden

4.2.2.1 Allgemeines

(1) Die Schalenberechnung sollte nach den Anforderungen von EN 1993-1-6 durchgeführt werden.

(2) Es darf stets ein höherwertiges Berechnungskonzept als das für die jeweilige Schadensfolgeklasse geforderte angewendet werden.

4.2.2.2 Schadensfolgeklasse 3

(1) Für Silos der Schadensfolgeklasse 3 (siehe 2.3) sollten die Beanspruchungen mit Hilfe einer validierten numerischen Berechnung (z. B. einer Finite-Elemente(FE)-Schalenberechnung) (wie in EN 1993-1-6 festgelegt) ermittelt werden. Der Nachweis gegen den Grenzzustand ‚Plastische Grenze' nach EN 1993-1-6 darf mit Hilfe plastischer Kollapsmechanismen unter Primärspannungszuständen geführt werden.

4.2.2.3 Schadensfolgeklasse 2

(1) Für Silos der Schadensfolgeklasse 2 unter axialsymmetrischen Belastungs- und Lagerungsbedingungen darf alternativ eines der beiden folgenden Berechnungskonzepte eingesetzt werden:

a) Die Primärspannungen können mit Hilfe der Membrantheorie ermittelt werden. Örtliche Biegeeffekte können mit Hilfe von Formeln auf der Grundlage der elastischen Biegetheorie erfasst werden.

b) Es kann eine validierte numerische Berechnung (z. B. eine FE-Schalenberechnung) (wie in EN 1993-1-6 festgelegt) durchgeführt werden.

(2) Lässt sich die Belastung aus dem Schüttgut nicht als axialsymmetrisch betrachten, so sollte eine validierte numerische Berechnung durchgeführt werden.

(3) Ungeachtet Absatz (2) dürfen die Primärspannungen mit Hilfe der Membrantheorie ermittelt werden, wenn die Belastung über den Umfang stetig veränderlich ist (z. B. in Form der 1. Harmonischen) und nur globale Biegung erzeugt.

NormCD - Stand 2011-01

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

(4) Für Berechnungen unter Windlast und/oder Fundamentsetzungen und/oder stetig veränderlichen Teilflächenlasten (siehe EN 1991-4 bezüglich dünnwandiger Silos) darf die Semi-Membrantheorie oder die Membrantheorie angewendet werden.

(5) Bei membrantheoretischer Berechnung der primären Schalenspannungen gilt:

a) Für diskrete Ringe, die mit einer isotropen kreiszylindrischen Schale unter Innendruck verbunden sind, darf in den effektiven Querschnitt eine mittragende Schalenlänge oberhalb und unterhalb des Ringes von $0{,}78\sqrt{rt}$ eingerechnet werden, es sei denn, der Ring befindet sich an der Abzweigung.

b) Örtliche Biegeeinflüsse an Diskontinuitäten der Schalenfläche und an Auflagerungen sollten getrennt erfasst werden.

(6) Isotrope Schalenwände mit diskreten Längssteifen, deren Abstand nicht größer als $n_{vs}\sqrt{rt}$ ist, dürfen als verschmiert-längsversteift berechnet werden.

ANMERKUNG Der Wert von n_{vs} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $n_{\mathrm{vs}} = 5$ empfohlen.

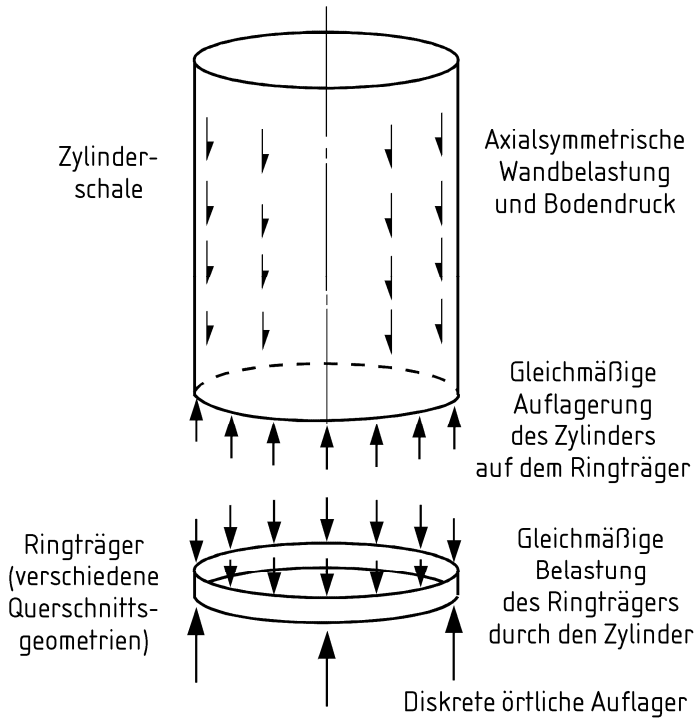
(7) Bei der Ermittlung der Steifenspannungen in einer verschmiert-längsversteift modellierten Schalenwand sollte auf eine zutreffende Erfassung der Kompatibilität zwischen Steife und Wand, einschließlich des Einflusses der Wandmembranspannungen rechtwinklig zur Steifenrichtung, geachtet werden.

(8) Bei Anordnung eines Ringträgers über diskreten Auflagern dürfen zwar die Primärspannungen mit Hilfe der Membrantheorie ermittelt werden, jedoch sollten dabei die Anforderungen in 5.4 und 8.1.4 bezüglich zusätzlicher nicht-axialsymmetrischer Primärspannungen sorgfältig beachtet werden.

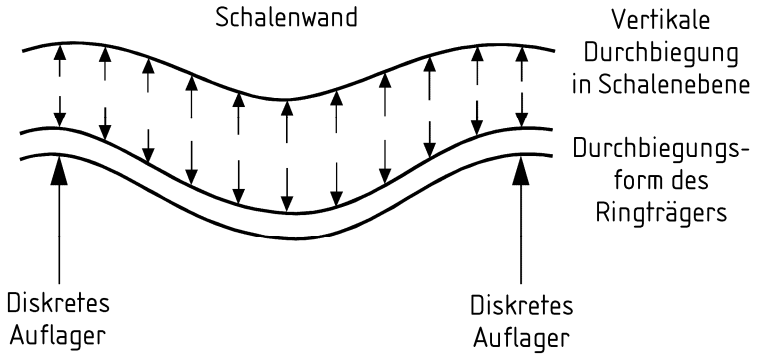
(9) Bei Anordnung eines Ringträgers über diskreten Auflagern sollte die Verformungskompatibilität zwischen Ring und anschließenden Schalensegmenten beachtet werden, siehe Bild 4.1. Das betrifft besonders die Kompatibilität der axialen Verformungen, da die eingetragenen Spannungen weit hinauf in die Schale wirken. Bei Verwendung eines solchen Ringträgers sollte darüber hinaus die Exzentrizität des Ringträgerschwer- und -schubmittelpunktes zur Schalenwand beachtet werden, siehe 8.1.4 und 8.2.3.

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12



a) Traditionelles Berechnungsmodell für stützengelagerte Silos



b) Verformungsbedingung für den Zylinder aus Kompatibilität mit der Trägerverformung

Bild 4.1 — Axiale Verformungskompatibilität zwischen Ringträger und Schale

(10) Bei Silos mit unsymmetrischer Belastung aus dem Schüttgut (Teilflächenlast, exzentrisches Entleeren, unsymmetrisches Befüllen usw.) sollte das Tragwerk so modelliert werden, dass die Übertragung von Schubmembrankräften innerhalb der Silowand sowie zwischen Silowand und Ringen erfasst wird.

ANMERKUNG Die Schubübertragung zwischen Teilen der Wand und den Ringen ist besonders wichtig in Konstruktionen mit Schrauben oder anderen diskreten Verbindungsmitteln (z. B. zwischen Siloschaft und Trichter oder zwischen verschiedenen Schüssen des Schaftes).

(11) In einer geschraubten oder mit anderen diskreten Verbindungsmitteln ausgeführten Silokonstruktion sollten bei Anordnung eines Ringträgers über diskreten Auflagern die Schubkräfte zwischen den Ringträger-Einzelteilen infolge Schalen- und Ringträgerbiegung ermittelt werden.

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12

(12) Die Steifigkeit des Schüttgutes darf nicht rechnerisch zur Verringerung der Wandverformungen oder zur Erhöhung des Beulwiderstandes des Tragwerks in Anspruch genommen werden, es sei denn, es wird eine rationale Analyse durchgeführt und es liegen eindeutige Beweise dafür vor, dass das Schüttgut an der Wand während der Entleerung nicht rutscht.

4.2.2.4 Schadensfolgeklasse 1

(1) Für Silos der Schadensfolgeklasse 1 dürfen die Primärspannungen mit Hilfe der Membrantheorie ermittelt werden; Einflüsse aus örtlicher Biegung und aus unsymmetrischen Einwirkungen dürfen mit Hilfe von Faktoren und Näherungsformeln berücksichtigt werden.

4.2.3 Geometrische Imperfektionen

(1) Die geometrischen Imperfektionen der Schalenwand sollten die in EN 1993-1-6 festgelegten Grenzwerte für geometrische Toleranzen einhalten.

(2) Bei Silos der Schadensfolgeklassen 2 und 3 sind nach Fertigstellung die geometrischen Imperfektionen zu messen, um sicherzustellen, dass die bei der Bemessung angenommene Herstellqualität erreicht wurde.

(3) Bei der Berechnung brauchen die geometrischen Imperfektionen der Schalenwand nicht explizit berücksichtigt zu werden, außer wenn eine GNIA- oder GMNIA-Berechnung nach EN 1993-1-6 durchgeführt wird.

4.3 Berechnung des Kastentragwerks eines rechteckigen Silos

4.3.1 Modellierung des Tragwerkskastens

(1) Der Tragwerkskasten sollte nach den Anforderungen von EN 1993-1-7 modelliert werden, wobei diese bei Befolgung der nachstehenden Regeln als erfüllt gelten.

(2) Das Tragwerksmodell sollte alle Steifen, großen Öffnungen und Anschlussteile enthalten.

(3) Die Bemessung sollte sicherstellen, dass die angenommenen Randbedingungen eingehalten werden.

(4) Die Verbindungen zwischen den Kastensegmenten sollten hinsichtlich Festigkeit und Steifigkeit den Modellierungsannahmen entsprechen.

(5) Jedes Wandfeld des Kastens darf als einzelnes Plattenelement behandelt werden, sofern die beiden folgenden Bedingungen eingehalten sind:

a) Die von den benachbarten Elementen eingeleiteten Kräfte und Momente werden erfasst.

b) Die Biegesteifigkeit der benachbarten Elemente wird erfasst.

(6) Isotrope Kastenwände mit diskreten Horizontalsteifen dürfen zur Berechnung der Spannungen in den Steifen und der Wand als orthotrope Platte mit verschmierten Steifen behandelt werden, wenn der Steifenabstand nicht größer als $n_s\, t$ ist.

ANMERKUNG Der Wert von n_s darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $n_s = 40$ empfohlen.

(7) Bei der Ermittlung der Steifenspannungen in einer verschmiert-längsversteift modellierten Schalenwand sollte auf eine zutreffende Erfassung der Exzentrizität zwischen Steife und Wand und des Einflusses der Wandmembranspannungen rechtwinklig zur Steifenrichtung geachtet werden.

(8) Die mittragende Breite der Wand zu beiden Seiten der Steife sollte nicht größer als $n_{ew}\, t$ angesetzt werden, wobei t die örtliche Plattendicke ist.

NormCD - Stand 2011-01

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN 1993-4-1:2010-12