DIN EN 1993-4-2

ICS 23.020.10; 91.010.30; 91.080.13

Einsprüche bis 2024-03-12
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1993-4-2:2017-09

Entwurf

Eurocode 3 –
Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 4-2: Tankbauwerke;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1993-4-2:2024

Eurocode 3 –
Design of steel structures –
Part 4-2: Tanks;
German and English version prEN 1993-4-2:2024

Eurocode 3 –
Calcul des structures en acier –
Partie 4-2: Réservoirs;
Version allemande et anglaise prEN 1993-4-2:2024

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-01-12 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil das beabsichtigte Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an natank@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Tankanlagen (NATank), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 167 Seiten

DIN-Normenausschuss Tankanlagen (NATank)
DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-4-2:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 104-01-05 AA „Oberirdische Flachboden-Tankbauwerke“ im DIN-Normenausschuss Tankanlagen (NATank).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1993-4-2:2017-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Anwendungsbereich der Norm überarbeitet und neu strukturiert;

b) im Anwendungsbereich wurde der Geltungsbereich der Norm auf Tanks größer als 5 m^2 (zuvor größer als 100 m^2) erweitert;

c) Abschnitt 1.2 - Annahmen, enthält weitere grundlegende Annahmen zur Anwendbarkeit weiterer Eurocodenormen und Parameter mit diesem Dokument;

d) neue Anschnitte und Inhalte aufgenommen;

e) redaktionelle Überarbeitung des Dokuments.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

– Entwurf –

2024-03

prEN 1993-4-2:2024

Titel de:	Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4-2: Tankbauwerke
Titel en:	Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 4-2: Tanks
Titel fr:	Eurocode 3 — Calcul des structures en acier — Partie 4-2: Réservoirs

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort **5**

0 Einleitung **6**
0.1 Einleitung zu den Eurocodes **6**
0.2 Einleitung zu der Normenreihe EN 1993 ..... **6**
0.3 Einleitung zu EN 1993-4-2 ..... **7**
0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen **8**
0.5 Nationaler Anhang zu EN 1993-4-2 ..... **8**

1 Anwendungsbereich **9**
1.1 Anwendungsbereich von EN 1993-4-2 ..... **9**
1.2 Voraussetzungen **10**

2 Normative Verweisungen **11**

3 Begriffe, Symbole, Vorzeichenvereinbarungen und Einheiten **11**
3.1 Begriffe **11**
3.2 Symbole **17**
3.2.1 Lateinische Großbuchstaben **17**
3.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben **17**
3.2.3 Griechische Buchstaben **20**
3.2.4 Indizes **20**
3.3 Vorzeichenvereinbarungen **21**
3.3.1 Vereinbarungen für das Achsensystem eines globalen Tanktragwerks **21**
3.3.2 Vereinbarungen für die Achsen von Tragwerksteilen in kreisförmigen Tanks **22**
3.3.3 Vereinbarungen für Spannungsresultanten bei kreisförmigen Tanks **23**

4 Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung **25**
4.1 Grundlegende Anforderungen **25**
4.2 Einheiten **26**
4.3 Klassifizierung von Tankbauwerken **27**
4.3.1 Differenzierung der Zuverlässigkeit **27**
4.3.2 Klassifizierung der strukturellen Komplexität für Tanks **27**
4.3.3 Klassifizierung der Tankgruppe **29**
4.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten **30**
4.4.1 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Tankbauwerke **30**
4.4.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände **30**
4.4.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit **31**
4.5 Grenzzustände **31**
4.6 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse **31**
4.7 Werkstoffeigenschaften **31**
4.8 Geometrische Größen **32**
4.9 Modellierung des Tankbauwerks zur Bestimmung der Schnittgrößen **32**
4.10 Versuchsgestützte Bemessung **32**
4.11 Dauerhaftigkeit **32**

5 Werkstoffeigenschaften **33**
5.1 Allgemeines **33**
5.2 Unlegierter Stahl und Kohlenstoff-Mangan-Stahl **33**
5.3 Nichtrostende Baustähle **34**
5.4 Zähigkeitsanforderungen **35**

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

5.4.1 Allgemeines ... 35
5.4.2 Niedrigste Auslegungswandtemperatur ... 35

6 Grundlagen der Tragwerksberechnung ... 35
6.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit ... 35
6.1.1 Grundlage ... 35
6.1.2 Blechdicke für die Berechnung der Widerstände ... 36
6.1.3 Ermüdung ... 36
6.1.4 Berücksichtigung von Temperatureinflüssen ... 36
6.2 Berechnung eines kreisförmigen zylindrischen Schalentragwerks eines Tanks ... 36
6.2.1 Modellierung des Schalentragwerks ... 36
6.2.2 Berechnungsverfahren ... 36
6.2.3 Geometrische Imperfektionen und Toleranzen ... 39
6.3 Tanks aus Wellprofilen ... 39

7 Bemessung von zylindrischen Schalenwänden ... 40
7.1 Grundlage ... 40
7.1.1 Allgemeines ... 40
7.1.2 Bemessung der zylindrischen Schalenwand ... 40
7.1.3 Auffangtassen ... 41
7.2 Widerstand der zylindrischen Schale ... 42
7.2.1 Allgemeines ... 42
7.3 Blechdicke von zylindrischen Schalen in einer abgestuften Wand für den Widerstand gegen Flüssigkeitsdrücke ... 42
7.4 Bemessung hinsichtlich des Widerstandes gegen äußeren Druck und Winddruck ... 46
7.4.1 Allgemeines ... 46
7.4.2 Hauptringsteife als obere Begrenzung bei Beulen unter äußerem Druck und Windbelastung ... 47
7.4.3 Bemessung einer abgestuften Schalenwand bei Beulen unter äußerem Druck und Windbelastung ... 47
7.4.4 Zwischenringsteifen zur Erhöhung des Beulwiderstandes unter äußerem Druck und Windbelastung ... 52
7.5 Setzungsunterschiede ... 54
7.5.1 Allgemeines ... 54
7.5.2 Lokale Setzungsunterschiede in Tanks mit Schwimmdächern ... 55
7.6 Stützkonstruktionen einer zylindrischen Schale ... 55

8 Bemessung kreisförmiger Dachtragwerke ... 56
8.1 Allgemeines ... 56
8.2 Alternative Dachtragwerksformen ... 57
8.3 Betrachtungen für individuelle Tragwerksformen ... 57
8.3.1 Ungestütztes Schalendachtragwerk ... 57
8.4 Kegelförmiges, kugelförmiges Kuppel- oder Flachdach mit Sparren- oder Fachwerktragwerk ... 58
8.4.1 Allgemeine Bemessung von Blechen ... 58
8.4.2 Bemessung von kegelförmigen Dachblechen mithilfe der nicht-linearen Theorie ... 58
8.4.3 Bemessung des Dachgespärres ... 60
8.4.4 Bemessung eines Flachdaches oder eines umgekehrtes Kegeldaches ... 60
8.4.5 Bemessung von Kuppeldächern ... 61
8.4.6 Kronenring ... 63
8.4.7 Dachtragwerke mit Stützen ... 64
8.4.8 Verbände und Ringsteifen bei nicht mit den Sparren verbundenen Dachblechen ... 64
8.5 Kugel- oder kegelförmiges Schalendach ohne Gespärre ... 65

9 Dacheckring und Hauptringsteife ... 66
9.1 Allgemeines: Herkömmliche Anordnung ... 66
9.2 Hauptringsteife oder Träger am Dacheckring ... 67

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

9.3 Hauptringsteife oder Träger von umgekehrten Kegeldächern am Dacheckring 70

10 Tankböden und Bodenrandbleche 71
10.1 Allgemeines 71
10.2 Bodenrandbleche 72
10.3 Mittige Bodenbleche (äußerste Bodenbleche) 73

11 Öffnungen in der zylindrischen Schale oder im Dach 74
11.1 Allgemeines 74
11.2 Mantelstutzen mit kleiner Nennweite 74
11.3 Bemessung von Mannlöchern, Zugangstüren und Stutzen mit großer Nennweite in zylindrischen Schalen für LS1 75
11.4 Bemessung von zylindrischen Schalenwänden für LS3 bei Vorhandensein von Öffnungen in der Schale 77
11.5 Bemessung von Öffnungen im Dach 77

12 Bemessung hinsichtlich der statischen Stabilität von verankerten und nicht verankerten Tankbauwerken 78
12.1 Nicht verankerte auf dem Boden aufliegende Tankbauwerke 78
12.1.1 Abheben 78
12.1.2 Kippen 79
12.2 Bemessung der Verankerung für verankerte auf dem Boden aufliegende Tankbauwerke 79
12.2.1 Allgemeines 79
12.2.2 Bemessung der Verankerung 80

13 Grenzzustände der Tragfähigkeit in Tanks auf einem Untergestell 81
13.1 Tragwerksformen 81
13.2 Einwirkungen auf Tanks auf einem Untergestell 82
13.3 Bemessung von kegelförmigen Segmenten 82
13.4 Bemessung von kugelförmigen und toroiden Segmenten 82
13.5 Bemessung des Turms 82

14 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit 83
14.1 Zylindrische Schalenwand 83
14.2 Tankdächer 83

Literaturhinweise 84

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-4-2:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1993-4-2:2007 einschließlich aller Änderungen und Berichtigungen ersetzen.

Die erste Generation der EN Eurocodes wurde zwischen den Jahren 2002 und 2007 veröffentlicht. Dieses Dokument wurde als Teil der zweiten Generation der Eurocodes im Rahmen des Mandats M/515 erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben.

Die Eurocodes wurden erarbeitet, um in Verbindung mit einschlägigen Ausführungs-, Werkstoff-, Produkt- und Prüfnormen angewendet zu werden und um Anforderungen an Ausführung, Werkstoffe, Produkte und Prüfung zu identifizieren, auf denen die Eurocodes beruhen.

Die Eurocodes erkennen die Verantwortlichkeit aller Mitgliedstaaten an und wahren deren Recht, sicherheitsbezogene Werte auf nationaler Ebene in Nationalen Anhängen festzulegen.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

0 Einleitung

0.1 Einleitung zu den Eurocodes

Die Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus umfassen die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

— EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken*

— EN 1991, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke*

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

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

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

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

— 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 Aluminiumtragwerken*

— Neue Teile sind derzeit in Erarbeitung, z. B. der Eurocode für die Bemessung von tragenden Konstruktionen aus Glas.

0.2 Einleitung zu der Normenreihe EN 1993

EN 1993 gilt für den Entwurf und die Bemessung von Hoch- und Ingenieurbauten aus Stahl. Sie entspricht den Grundsätzen und Anforderungen für die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Tragwerken, deren Bemessungs- und Nachweisgrundlagen in EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken*, angegeben sind.

EN 1993 beschäftigt sich ausschließlich mit den Anforderungen an die Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit und Feuerwiderstandsfähigkeit von Stahltragwerken. Andere Anforderungen wie etwa an die Wärme- und Schalldämmung werden nicht berücksichtigt.

EN 1993 ist in mehrere Teile gegliedert:

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

EN 1993-2, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 2: Stahlbrücken*

EN 1993-3, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 3: Türme, Maste und Schornsteine*

EN 1993-4, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4: Silos*

EN 1993-5, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 5: Pfähle und Spundwände*

EN 1993-6, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 6: Kranbahnen*

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

EN 1993-7, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 7: Bemessung von Sandwich-Elementen*

EN 1993-1 existiert nicht als ein physisches Dokument, sondern besteht aus den folgenden 14 gesonderten Teilen besteht, deren grundlegender Teil EN 1993-1-1 ist:

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

EN 1993-1-2, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall*

EN 1993-1-3, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: Kaltgeformte Bauteile und Profiltafeln*

ANMERKUNG Kaltgeformte Hohlprofile nach EN 10219 werden in EN 1993-1-1 behandelt.

EN 1993-1-4, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-4: Tragwerke aus nichtrostenden Stählen*

EN 1993-1-5, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile*

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

EN 1993-1-7, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-7: Aus Blechen zusammengesetzte Bauteile unter Querlasten*

EN 1993-1-8, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Anschlüsse*

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

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

EN 1993-1-11, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-11: Zugglieder*

EN 1993-1-12, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlsorten bis S700*

EN 1993-1-13, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-13: Träger mit großen Stegöffnungen*

EN 1993-1-14, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-14: Bemessung mithilfe von Finite-Element-Berechnung*

Alle Teile von EN 1993-1-2 bis EN 1993-1-14 behandeln allgemeine Themen, die unabhängig von der Art des Bauwerks sind, wie die Tragwerksbemessung für den Brandfall, kaltgeformte Bauteile und Bleche, nichtrostende Stähle, plattenförmige Bauteile usw.

Alle Teile von EN 1993-2 bis EN 1993-7 behandeln Themen, die für eine bestimmte Tragwerksart maßgebend sind, wie Stahlbrücken, Türme, Maste und Schornsteine, Silos und Tankbauwerke, Pfähle und Spundwände, Kranbahnen usw. EN 1993-2 bis EN 1993-7 beziehen sich auf die allgemeinen Regeln von EN 1993-1 und ergänzen, ändern oder ersetzen diese.

0.3 Einleitung zu EN 1993-4-2

EN 1993-4-2 enthält die Bemessungsanforderungen für die Tragwerksbemessung von Tankbauwerken für die Lagerung von Flüssigkeiten und Flüssiggasen. Sie enthält Bemessungsregeln, welche die allgemeinen Regeln, die in den vielen Teilen von EN 1993-1 enthalten sind, ergänzen. Dieses Dokument ist für Bauherren, Tragwerksplaner, Auftragnehmer und zuständige Behörden vorgesehen.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen

Das Verb „muss“ beschreibt eine Anforderung die zwingend zu befolgen ist und von der bei Anwendung der Eurocodes keine Abweichung zulässig ist.

Das Verb „sollte“ beschreibt eine streng empfohlene Auswahl oder Vorgehensweise. In Abhängigkeit von nationalen Regeln und/oder relevanten Vertragsbestimmungen können alternative Lösungen verwendet/angenommen werden, wenn sie technisch verifiziert sind.

Das Verb „darf“ beschreibt eine erlaubte Vorgehensweise innerhalb der Anwendungsgrenzen der Eurocodes.

Das Verb „kann“ beschreibt Möglichkeiten und Fähigkeiten; es wird für Tatsachenfeststellungen und Erklärungen verwendet.

0.5 Nationaler Anhang zu EN 1993-4-2

Nationale Festlegungen sind in dieser Norm zulässig, wo dies ausdrücklich in Anmerkungen angegeben wird. Nationale Festlegungen umfassen die Auswahl an Werten für national festgelegten Parameter (NDP, en: nationally determined parameters).

Die jeweilige nationale Ausgabe von EN 1993-4-2 kann einen Nationalen Anhang mit allen nationalen Festlegungen enthalten, die für den Entwurf und die Bemessung von Hoch- und Ingenieurbauten im jeweiligen Land Verwendung finden.

Wird keine nationale Festlegung angeführt, ist die in dieser Norm angegebene Standardfestlegung anzuwenden.

Wenn keine nationale Festlegung angeführt wird und keine Standardfestlegung in dieser Norm angegeben ist, kann die Festlegung durch eine zuständige Behörde getroffen werden oder, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, können die beteiligten Parteien im Einzelfall eine Vereinbarung treffen.

Nationale Festlegungen sind in EN 1993-4-2 in Form von Anmerkungen zu den folgenden Abschnitten gestattet:

4.3.2(3)	4.3.3(2)	4.4.1(3)	4.4.2(4)
4.4.3(2)	4.11(4)	7.1.3(1)	8.4.7(1)
10.2(1)	10.2(9)	10.3(2)	

Nationale Festlegungen sind in EN 1993-4-2 hinsichtlich der Anwendung der folgenden informativen Anhänge gestattet:

Keine

Der Nationale Anhang kann, direkt oder durch Verweisungen, ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Erleichterung der Umsetzung enthalten, sofern dadurch keine Bestimmungen der Eurocodes geändert werden.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

1 Anwendungsbereich

1.1 Anwendungsbereich von EN 1993-4-2

(1) EN 1993-4-2 enthält Regeln für die Tragwerksbemessung von vertikalen zylindrischen, konischen und auf der Unterkonstruktion stehenden oberirdischen Tankbauwerken aus Stahl für die Lagerung von Flüssigkeiten und Flüssiggasen.

(2) EN 1993-4-2 ist anwendbar für die Bemessung hinsichtlich des Widerstandes von zylindrischen Wänden und Flachböden, die mithilfe unausgesteifter Bleche hergestellt sind. Die Bemessung von Kegel- und Kugeldächern als Schalentragwerke (ungestützt) oder als auf einem Rahmentragwerk gelagert (gestützt) ist ebenfalls abgedeckt.

(3) EN 1993-4-2 behandelt nur die Anforderungen an Widerstand und Standsicherheit von Tankbauwerken aus Stahl.

(4) EN 1993-4-2 behandelt ausschließlich Tanktragwerke aus Stahl der Tankgruppen 1, 2 und 3, wie in diesem Dokument festgelegt.

ANMERKUNG Tankgruppe 4 ist in dieser Norm nicht festgelegt (siehe 3.1.41).

(5) Dieses Dokument ist für Tanks mit den folgenden Grenzmaßen anwendbar (siehe EN 1991-4):

Seitenverhältnis des Tanks	$h_S/d < 10$
Gesamthöhe des Tanks	$h_S < 70$ m
Durchmesser des Tanks	$d < 100$ m

(6) Diese Norm enthält geeignete Regeln für die Bemessung von Tanks, die für die Lagerung von in einer Flüssigkeit gelösten Feststoffen vorgesehen sind, wozu die entsprechende globale Dichte des Gemisches verwendet wird.

ANMERKUNG Tanks, die für die Trennung von mineralischen Partikeln unterschiedlicher Dichte verwendet werden, fallen in diese Kategorie.

(7) EN 1993-4-2 gilt nicht für Folgendes:

a) Tankbauwerke mit einem Brutto-Fassungsvermögen von weniger als 5 m^3 (5 000 l);

b) Tankbauwerke mit gewölbtem Boden und einem Durchmesser kleiner als 5 m;

c) Tankbauwerke mit einem charakteristischen Innendruck über dem Flüssigkeitsspiegel von mehr als 50 kPa (500 mbar)[1] (siehe Druckgeräterichtlinie);

d) Auslegungswandtemperaturen außerhalb des in Abschnitt 5 festgelegten Bereiches, wobei −50 °C die niedrigste Temperatur für die Anwendung dieses Dokuments ist;

e) Tankbauwerke mit rechteckigen und anderen nicht kreisrunden Grundrissen;

f) Tankbauwerke, die Feuer ausgesetzt sind;

1 Alle Druckangaben bezeichnen Überdrücke in Bar, sofern nicht anders angegeben.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

g) Schwimmdächer und Schwimmdecken;

h) Anbauten wie Treppen, Arbeitsbühnen, Stutzen, Rohrleitungen und Zugangstüren.

(8) Dieses Dokument behandelt nicht:

a) die besonderen Anforderungen für die Bemessung von Tankbauwerken im Erdbebenfall;

b) die Bemessung einer Unterstützungskonstruktion;

c) die Bemessung von Anbauten wie Treppen, Arbeitsbühnen, Rohrbrücken und Steigleitern;

d) die Bemessung einer Dachkonstruktion aus Aluminium für ein Tankbauwerk aus Stahl;

e) Stahlbetonfundamente für Tankbauwerke aus Stahl;

f) die Bemessung eines konischen Trichters;

g) die Bemessung eines Übergangs zwischen dem Fuß einer zylindrischen Schalenwand und einem konischen Trichter;

h) die Bemessung eines unterstützenden Ringträgers in einem aufgeständerten Tankbauwerk.

1.2 Voraussetzungen

(1) Sofern nicht ausdrücklich etwas anderes angegeben ist, gelten EN 1990, Normenreihe EN 1991 und Normenreihe EN 1993-1.

(2) Die in diesem Dokument angegebenen Bemessungsverfahren sind anwendbar, wenn:

— die Qualität der Ausführung den Festlegungen von EN 1090-2 entspricht; und

— die verwendeten Baustoffe und -produkte den Festlegungen der zutreffenden Teile der Normenreihe EN 1993 oder den zutreffenden Material- und Produktspezifikationen entsprechen.

(3) Diese Norm gilt für rotationssymmetrische Tragwerke, sie umfasst aber auch die Auswirkungen von unsymmetrischen Einwirkungen (z. B. Wind), und unsymmetrisch gelagerte Tankbauwerke (z. B. auf diskreten Auflagern).

(4) EN 1993-4-2 ist dafür vorgesehen, zusammen mit EN 1990, mit EN 1991-4, mit den anderen Teilen von EN 1991, mit EN 1993-1-6 und EN 1993-4-1, mit den anderen Teilen von EN 1993, mit EN 1992 und mit den anderen Teilen von EN 1994 bis EN 1999, die für die Konstruktion und Bemessung von Tankbauwerken maßgebend sind, angewendet zu werden. Themen, die bereits in diesen Dokumenten behandelt werden, werden nicht wiederholt.

(5) Zahlenwerte für Teilsicherheitsbeiwerte und andere Zuverlässigkeitsparameter werden als Basisvariablen empfohlen, die ein annehmbares Zuverlässigkeitsniveau liefern. Sie wurden unter der Annahme ausgewählt, dass ein geeignetes Niveau der Arbeitsausführung und des Qualitätsmanagements vorliegt.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 1090-2, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken*

EN 1990:2023[2], *Eurocode — Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken*

EN 1991 (alle Teile), *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke*

EN 1993 (alle Teile), *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

3 Begriffe, Symbole, Vorzeichenvereinbarungen und Einheiten

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1990, ISO 8930 und die folgenden Begriffe.

3.1.1
Axialrichtung x
vertikale Richtung entlang der Schalenwand

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei einer zylindrischen Wand sind die Axialrichtung und die Meridianrichtung identisch.

3.1.2
rotationssymmetrische Schale
Schalentragwerk, dessen Geometrie durch die Rotation eines Meridians um eine Mittelachse definiert ist

3.1.3
Bodenring oder Bodenrandblech
Tragwerkselement, das unterhalb der zylindrischen Schalenwand der Umfangslinie des Tragwerks folgt und benötigt wird, um die angenommenen Randbedingungen praktisch sicherzustellen

3.1.4
Auffangtasse
externes Tankbauwerk, das Flüssigkeit aufnimmt, die bedingt durch Undichtheiten oder versehentlich aus dem Haupttank austreten könnte

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Bauwerksart wird üblicherweise verwendet, wenn der Haupttank giftige oder gefährliche Flüssigkeiten enthält. Eine Auffangtasse senkt auch effektiv den Bedarf an einem weitläufigen Bereich der Flüssigkeitsrückhaltung rings um den Tank.

3.1.5
Umfangsrichtung
θ
horizontale Tangente an die Schalenwand in jedem Punkt

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie ändert sich längs des Tankumfanges, liegt in einer horizontalen Ebene und ist tangential zur Schalenwand

2 Geändert durch EN 1990:2023/prA1:2024

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

3.1.6
kontinuierlich unterstütztes Tankbauwerk
Tankbauwerk, bei dem alle Positionen längs des Umfanges in gleicher Weise unterstützt sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Geringfügige Abweichungen von diesem Zustand (z. B. eine kleine Öffnung) beeinflussen die Anwendbarkeit dieser Definition nicht

3.1.7
Schuss
Höhenabschnitt einer zylindrischen Wand, bestehend aus einer einzigen Blechdicke, oder zwischen Ringsteifen, üblicherweise aus mehreren Blechreihen (siehe 3.1.39) zusammengesetzt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die zylindrische Schalenwand wird durch horizontale Verbindungen zwischen kurzen zylindrischen Abschnitten hergestellt, die als Schüsse bezeichnet werden, von denen jeder durch vertikale Verbindungen zwischen einzelnen gekrümmten Blechen gebildet wird.

3.1.8
Randwinkel
leichter Ring, der an der Oberseite der zylindrischen Schalenwand eines Tankbauwerks angebracht wird

3.1.9
diskretes Auflager
Situation, bei der ein Tank durch eine örtliche Konsole oder Stütze unterstützt ist, mit einer begrenzten Anzahl schmaler Lagerungen längs des Tankumfanges

3.1.10
Dacheckring
Verbindung zwischen einer zylindrischen Wand und einem Dachtragwerk

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe auch Randwinkel und Hauptringsteife.

3.1.11
außenversteifte Wand
Tankwand mit ihrer Außenseite angebrachten Steifen

3.1.12
festes Schalendach
Dachtragwerk, das an der Oberseite der zylindrischen Wand befestigt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Begriff umfasst sowohl auf Sparren oder auf einem Tragrahmen gelagerte Dächer als auch unausgesteifte Schalendächer (mitunter als ungestützt bezeichnet).

3.1.13
Schwimmdach
Dachtragwerk, das an der Oberfläche der gelagerten Flüssigkeit schwimmt und sich bei sich änderndem Flüssigkeitsstand im Tankbauwerk auf und ab bewegt

3.1.14
Gas-/Dampfdruck
Druck im Raum oberhalb der Oberfläche der gelagerten Flüssigkeit

3.1.15
auf dem Boden aufliegendes Tankbauwerk
Tankbauwerk, bei dem das Schalentragwerk gleichmäßig auf einem horizontalen Fundament, das direkt durch den Boden gestützt wird, gelagert ist

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

3.1.16
Auslauftrichter
zum Boden des Tanks hin zusammenlaufender Querschnitt

Anmerkung 1 zum Begriff: Er wird verwendet, um die Flüssigkeiten zu einem Schwerkraftauslass zu leiten (üblich bei Suspensionen).

3.1.17
horizontal gewellte Wand
Schalenwand, hergestellt aus Wellprofilen aus Stahl, deren Wellung um den Umfang des Tankbauwerks herum reicht

3.1.18
innenversteifte Wand
Tankwand mit ihrer Innenseite angebrachten Steifen

3.1.19
isotrope Wand
Schalenwand eines Tanks, bestehend aus flachgewalztem Stahlblech

3.1.20
Beiwert für die Wirksamkeit der Verbindung
Verhältnis des Membrankraftwiderstandes einer geschweißten oder geschraubten Verbindung zum Membranfließkraftwiderstand des Grundblechs

3.1.21
Verbindungsstelle
Stelle, an der zwei oder mehr Schalenabschnitte zusammentreffen

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie kann auch eine Steife einschließen oder kann keine Steife besitzen: die Anschlussstelle einer Ringsteife an eine Schale wird als Verbindungsstelle betrachtet.

3.1.22
maximale Auslegungsfüllhöhe
MDLL, en: maximum design liquid level
höchster Flüssigkeitsstand in einem Tankbauwerk, der als eine Bemessungssituation mit außergewöhnlicher Last verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie ist höher als der maximale Normalspiegel in Betrieb (siehe Bild 3.1).

3.1.23
maximaler Normalspiegel in Betrieb
MNOL, en: maximum normal operating liquid level
höchster Flüssigkeitsstand in einem Tankbauwerk unter normalen Betriebsbedingungen und zur Anwendung in Lastkombinationen nach EN 1990:2023, A.4

Anmerkung 1 zum Begriff: Er ist niedriger als die maximale Auslegungsfüllhöhe (siehe Bild 3.1).

3.1.24
Meridianrichtung
ϕ
Tangente an die Schalenwand in jedem Punkt einer Ebene, die durch die Achse des Tankbauwerks verläuft

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie ändert sich mit dem jeweils betrachteten Tragwerksteil. Für eine zylindrische Wand sind die Axial- und Meridianrichtungen identisch, und Axialrichtung ist in der Regel die bevorzugte Benennung.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

3.1.25
Mittelfläche
Mitte der Schalenwand an einem beliebigen Punkt, so dass diese Oberfläche unter elastischen Bedingungen spannungsfrei ist, wenn die Schale nur Biegung in beliebige Richtung ausgesetzt ist

3.2.26
Mindestbetriebsspiegel
min NOL, en: minimum operating liquid level
niedrigster Flüssigkeitsstand in einem Tankbauwerk im Normalbetrieb

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 3.1.

3.1.27
Pfette
in Umfangsrichtung ausgerichtetes Bauteil, das ein Dach trägt und selbst auf Sparren lagert

3.1.28
Hauptringsteife
Ringsteife, die in der Nähe der Oberkante der zylindrischen Wand oder am Dacheckring angeordnet ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie kann auch als Auflagering oder Windträger bezeichnet werden. Im Fall eines Daches bildet die Hauptringsteife auch die Verbindung zwischen dem Dach und der zylindrischen Wand.

3.1.29
Sparren
radial ausgerichtetes Bauteil, das ein Dach trägt

3.1.30
Rippe
örtliches Bauteil, das eine primäre Biegelastabtragung längs eines Schalenmeridians ermöglicht, welcher eine Erzeugende der Rotationsschale darstellt.

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie wird verwendet, um Querlasten mittels Biegung auf das Tragwerk zu verteilen.

3.1.31
Ringträger oder Ringbalken
Versteifungsbauteil in Umfangsrichtung, das sowohl senkrecht zur Ebene des kreisförmigen Tragwerksquerschnittes (Schalenquerschnitt) als auch in dieser Ebene Biegesteifigkeit und Biegefestigkeit besitzt

Anmerkung 1 zum Begriff: Er ist ein Haupttragglied zur Weiterleitung örtlicher vertikaler Lasten in das Schalentragwerk.

3.1.32
Ringsteife
örtliches Versteifungsbauteil, das an einem bestimmten Punkt auf dem Meridian längs des Tragwerksumfanges verläuft

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wird angenommen, dass sie keine Steifigkeit in der Meridianebene des Tragwerkes hat. Sie wird verwendet, um die Stabilität zu erhöhen oder um Einzellasten einzuleiten, und ist kein Haupttragglied.

3.1.33
RLG, en: refrigerated liquified gas
tiefkaltes verflüssigtes Gas

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

3.1.34
Zwischenringsteife
Ringsteife an einer Tankwand, angeordnet an der zylindrischen Wand unterhalb der Hauptringsteife

Anmerkung 1 zum Begriff: Es können mehrere Zwischenringsteifen vorhanden sein. Der Zweck der Zwischenringsteife ist es, den Widerstand der zylindrischen Schale gegenüber Beulen unter Druck von außen und Windeinwirkung zu erhöhen.

3.1.35
Abstand zwischen den Ringsteifen
Mittenabstand zwischen den Umfangsachsen zweier benachbarter Ringsteifen

3.1.36
Schale
vertikale Wand eines zylindrischen, auf dem Boden aufliegenden Tankbauwerkes

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Benennung wird häufig im Tank-/Behälterbau verwendet, um sich auf die vertikale Wand eines zylindrischen, auf dem Boden aufliegenden Tanks zu beziehen. Dieser Sprachgebrauch ist im Vergleich zur allgemeinen Definition einer Schale (siehe EN 1993-1-6), deren Anwendung allgemeiner ist, etwas irreführend. Um Verwechslungen zu vermeiden, wird in dieser Norm die Benennung „Schale“ verwendet, wenn es für die Bedürfnisse im Tank-/Behälterbau angemessen ist; die Benennung „zylindrische Wand“ wird jedoch allgemeiner verwendet.

3.1.37
Dachecke
Verbindung zwischen einer zylindrischen Schalenwand und dem Dach

Anmerkung 1 zum Begriff: Alternativ als Kopfwinkel oder Dacheckring bezeichnet, ist die Verbindung zwischen der vertikalen Wand und dem Dach.

3.1.38
äußerstes Bodenblech oder Bodenblech
Blech zur Herausbildung des Innenbodens eines auf dem Boden aufliegenden Tankbauwerks

3.1.39
Blechreihe
einzelne Reihe von Blechen einer bestimmten Dicke

Anmerkung 1 zum Begriff: Die zylindrische Schalenwand eines Tankbauwerks wird durch das Einfügen horizontaler Umfangsstöße zwischen einer Gruppe kurzer zylindrischer Abschnitte hergestellt, die jeweils als eine Blechreihe bezeichnet werden, und von denen jede durch die vertikale Verbindung einzelner gekrümmter Bleche hergestellt wird. Mehrere Blechreihen bilden in der Regel einen Schuss (siehe 3.1.7).

3.1.40
Tankbauwerk
Tank
Behälter zur Lagerung von Flüssigkeiten

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser Norm wird vorausgesetzt, dass das Tankbauwerk einen kreisförmigen Grundriss hat.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

3.1.41
Tankgruppe
TG
Klassifizierung eines Tanks nach Größe, Form und Verwendung, um die Komplexität seiner Bemessungsanforderungen zu ermitteln, wobei er in die Tankgruppe 0, 1, 2 oder 3 eingestuft wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Tanks der Versagensfolgeklasse 4 sind in Tankgruppe 4 eingestuft. Für diese Tanks sind zusätzliche Betrachtungen notwendig.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Bestimmungen dieser Norm sind für TG0 nicht erforderlich. Alle Bestimmungen gelten für die TGs 1, 2 und 3, es sei denn, es werden speziell für TG1 oder TG2 Ausnahmen gemacht.

3.1.42
Schalenwand
Blechteile, die die vertikalen Wände, das Dach oder einen Trichterboden eines Tanks bilden

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Benennung beschränkt sich nicht auf die vertikalen Wände.

3.1.43
Klasse der strukturellen Komplexität
SCC, en: structural complexity class
Klassifizierung eines Tanks zur Berücksichtigung der Komplexität der Tragwerksform, soweit dies erforderlich ist, um die Anfälligkeit für verschiedene Versagensarten zu berücksichtigen

3.1.44
Prüfdruck
Druck im Raum oberhalb der Prüfflüssigkeit während des Prüfdurchgangs

3.1.45
Übergang
Anschluss der vertikalen Schalenwand an einen konischen Auslauftrichter

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Übergang kann sich am unteren Ende der vertikalen Wand oder in deren unteren Bereich befinden.

3.1.46
ungestütztes Schalendachtragwerk
Schalendach, das kein Tragwerk aus Füllstäben oder Sparren unter sich hat, sondern auf dem Widerstand der Schale allein beruht, um Lasten aufzunehmen und sie auf die zylindrische Tankwand zu übertragen

3.1.47
vertikale Steife
Steife, die an der zylindrischen Schalenwand in axialer Richtung angebracht ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie wird manchmal an aufgeständerten Tankbauwerken verwendet, um den Beulwiderstand in axialer Richtung zu erhöhen.

3.1.48
Windträger
wichtige Hauptringsteife nahe der Oberkante der zylindrischen Schale, um sowohl Steifigkeit gegenüber Beulen als auch Festigkeit gegenüber Spannungen unter Windbelastung zu bieten

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

3.2 Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole.

Die Symbole basieren auf ISO 3898.

3.2.1 Lateinische Großbuchstaben

A	Querschnittsfläche eines Tragwerksteils
A_1, A_2	Querschnittsfläche von oberem und unterem Flansch des Kronenringes
E	Elastizitätsmodul
E_{red}	verringerter Elastizitätsmodul zur Berücksichtigung von Wärmewirkungen
F	Kraft
F_{A}	größte vertikale, nach unten gerichtete Bemessungsflächenlast an einem Dach, einschließlich der Masse der Bleche, der Unterstützungskonstruktion und äußerer vertikaler Lasten
F_{B}	größte vertikale, nach unten gerichtete Bemessungsflächenlast an einem Dach, einschließlich der Masse der Bleche, der Unterstützungskonstruktion und äußerer vertikaler Lasten
I	Flächenträgheitsmoment eines Querschnitts
K_{a}	Abminderungsfaktor für die Auswirkung von Axialdruck auf das Beulen unter äußerem Druck
M	Biegemoment in einem Tragwerksteil
N	Axialkraft in einem Tragwerksteil
N_{f}	für Ermüdung relevante Mindestanzahl der Lastwechsel
P_{r}	Vertikallast auf einem Dachsparren
R_{cr}	linearer elastischer Beulwiderstand (siehe EN 1993-1-6)
T	Temperatur
T_{Ed}	Bezugstemperatur für die Bemessung
T_{LODMAT}	niedrigste über einen Tag gemittelte Umgebungstemperatur (siehe 5.4.2)
T_{MDMT}	niedrigste Auslegungswandtemperatur (siehe 5.4.2)
W	elastisches Widerstandsmoment

3.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben

a	horizontale Seitenlänge einer rechteckigen Öffnung in einer zylindrischen Schalenwand
a_{j}	vertikaler Abstand von einer Zwischenringsteife j zur nächsten darunterliegenden Zwischenringsteife $(j+1)$ oder, wenn darunter keine Zwischenringsteife vorhanden ist, zum Fuß der zylindrischen Wand
b	vertikale Höhe einer rechteckigen Öffnung in einer zylindrischen Schalenwand
b_{k}	radiale Breite des Kronenrings in einem Dach
b_{r}	örtlicher Abstand zwischen zwei Sparren oder Pfetten bei der Bemessung eines Daches (nicht-lineare Theorie)
c_{p}	Koeffizient für Winddruckbelastung

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

d	Durchmesser einer zylindrischen Schalenwand eines Tanks
d_n	Durchmesser der Bewehrung um ein Mannloch oder einen Stutzen
d_o	Durchmesser der Öffnung eines Mannlochs oder eines Stutzens
e	Abstand der Randfaser des Balkens von der Balkenachs
f_r	Ersatzfaktor an einem Stutzen bei der Bemessung von verstärkten Öffnungen
f_s	Spannungskonzentrationsfaktor an einem Stutzen
f_q	Abminderungsfaktor für den axialen Beulwiderstand für die Herstellqualitätsklasse
f_{yd}	Bemessungswert der Streckgrenze des Stahls
f_u	Zugfestigkeit des Stahls
h_{CO}	Stich des Daches (Höhe des Scheitels eines kegelförmigen Daches über der Ebene, in der das Dach mit der zylindrischen Wand verbunden ist); siehe Bild 3.1 und Bild 8.1
h_s	Stich des Daches (Höhe des Scheitels einer Kuppel oder eines gewölbten Bodens über der Ebene, in der das Dach mit der zylindrischen Wand verbunden ist); siehe Bild 3.1 und Bild 8.1
h_b	Höhe einer unausgesteiften zylindrischen Schale, die gegen Beulen stabil sein kann, gemessen von der Oberkante der zylindrischen Wand, dem Randwinkel oder dem Hauptwindträger (je nachdem, was zutreffend ist)
h_{bm}	Höhe einer möglichen Beule, die sich vom Randwinkel oder vom Hauptwindträger herab bis zum Fuß des m-ten Schusses erstreckt ($i = 1$ für den obersten Schuss)
h_{CO}	Stich des Daches (Höhe des Scheitels eines kegelförmigen Daches über der Ebene, in der das Dach mit der zylindrischen Wand verbunden ist); siehe Bild 3.1 und Bild 8.1
h_F	Freiraum oder Höhe der Schalenoberkante über der maximalen Auslegungsfüllhöhe (MDLL), siehe Bild 3.1
h_g	Höhe über dem Fuß des Massenmittelpunktes der Flüssigkeit in einem Tank mit Untergestell (Bild 3.2)
h_i	Höhe des Fußes des i-ten Schusses unterhalb der Oberkante einer zylindrischen Schalenwand ($i = 1$ an der Oberkante)
h_k	vertikaler Abstand der Gurte des Kronenringes (Bild 8.2)
h_L	Flüssigkeitsstand oberhalb des Fußes in der betrachteten Bemessungssituation
h_{PR}	Höhe der Hauptringsteife/des Hauptwindträgers vom Fuß aus, siehe Bild 3.1
h_{rj}	Höhe bis zur j-ten Zwischenringsteife unter der Hauptringsteife (Bild 7.5)
h_S	Stich des Daches (Höhe des Scheitels einer Kuppel oder eines gewölbten Bodens über der Ebene, in der das Dach mit der zylindrischen Wand verbunden ist); siehe Bild 3.1 und Bild 8.1
h_T	Höhe der zylindrischen Schale vom Fuß bis zur Oberkante der zylindrischen Wand (Bild 3.1)
h_V	Höhe der zylindrischen Wand der Dicke t_i, die benötigt wird, um dem inneren Dampfdruck standzuhalten (umgewandelt in die äquivalente Flüssigkeit)
i	zugewiesene Zahl für einen Mantelschuss, gemessen von der Oberkante (Dach oder Windträger)
j	zugewiesene Zahl einer Zwischenringsteife, gemessen von der Oberkante
j_{ef}	Beiwert für die Wirksamkeit der Verbindung

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

k_a	Koeffizient für Axialdruck bei Beulwiderstand unter äußerem Druck
k_w	Koeffizient für den Beulwiderstand unter Windbelastung
l_S	Höhe des Mantelabschnittes oder Schublänge der Steife
m	Biegemoment je Längeneinheit des Bleches
m	Anzahl der Schüsse in einer Gruppe, die auf Beulen unter äußerem Druck beurteilt wird
n	Membranspannungsresultante je Längeneinheit des Bleches
n	Anzahl der Sparren bei einem kreisförmigen Tankdach
p	beliebige Flächenlast (nicht notwendigerweise rechtwinklig zur Wand)
p_n	Innendruck rechtwinklig zur Tankwandoberfläche (nach außen gerichtet wirkend)
$p_{V,Ed}$	Bemessungswert des Dampfdruckes über dem Flüssigkeitsspiegel
q	äußerer Druck oder Winddruck rechtwinklig zur Tankwand oder zum Dach (nach innen gerichtet wirkend)
r	radiale Koordinate eines beliebigen Punktes
r_{CO}	Krümmungsradius eines kegelförmigen Daches (siehe Gleichung (8.22))
r_S	Krümmungsradius eines kugelförmigen Kuppeldaches
r_T	Radius der Mittelfläche einer zylindrischen Tankwand (Schale)
t	Schalenwanddicke
t_{AP}	Dicke des Bodenrandbleches oder des Bodenrings
t_{BP}	Dicke des Bodenbleches, des äußersten Bodenbleches oder des Bodenmittelbleches
t_{CO}	Dicke des Dachbleches eines kegelförmigen Daches
$t_{eq,m}$	äquivalente Dicke einer möglichen Beule aufgrund von äußerem Druck
t_i	Schalenwanddicke im i-ten Schuss unterhalb der Oberkante der Tankwand
t_S	Dicke des Dachbleches eines kugelförmigen Kuppeldaches
w_g	Größenparameter zur Definition der Klasse der strukturellen Komplexität
w_{AP}	Breite des Bodenrandbleches oder des Bodenrings
w_{APlim}	Mindestbreite des Bodenrandbleches oder des Bodenrings
$w_{AP,i,min}$	kleinste beanspruchte innere Breite (Abstand vom Innenrand des Bodenrandbleches zum inneren Rand des Mantelbleches)
x	vertikale Koordinate eines beliebigen Punktes im Tank
x_{CO}	lokale vertikale Koordinate eines Punktes an einem kegelförmigen Tankdach (Bild 8.1)
x_L	globale vertikale Koordinate, gemessen ab dem Flüssigkeitsspiegel h_L
x_S	lokale vertikale Koordinate eines Punktes an einem kugelförmigen Tankdach (Bild 8.1)
x_T	lokale vertikale Koordinate, gemessen von der Oberkante einer Schale abwärts (Bild 3.1)

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

3.2.3 Griechische Buchstaben

α Neigung der Außenkante eines Daches in Bezug zur Horizontalen (siehe Bild 3.1 und Bild 8.1)

$\alpha_{\theta I}$ Abminderungsfaktor für Imperfektionen unter äußerem Druck oder Windbelastung

β Neigung eines kegelförmigen Abschnittes in Bezug zur Vertikalen (siehe Bild 13.1)

β_r Parameter für den Sparrenabstand $= \pi/n$, wobei n die Anzahl der Sparren ist

γ_U oberer charakteristischer Wert des Raumgewichts (spezifischen Gewichts) einer Flüssigkeit

γ_F Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen (siehe EN 1990:2023, Abschnitt A.4)

γ_{FL} Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen aus Flüssigkeitsdruck

γ_{FV} Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen aus Dampfdruck

γ_M Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand

δ Durchbiegung

η dimensionslose Größe einer kreisrunden Öffnung in einer zylindrischen Schale

Δ Änderung einer Variablen

ν Querdehnungszahl

ρ oberer charakteristischer Wert der Dichte einer Flüssigkeit

θ Umfangskoordinate einer Schale

σ Normalspannung

τ Schubspannung

3.2.4 Indizes

E Wert für die Spannung oder Verschiebung (resultierend aus Bemessungseinwirkungen)

F Feld

F Einwirkung

a ringförmig

d Bemessungswert

f Ermüdung

i innen

i nach innen gerichtet

i Zählvariable

i Nummer des Schusses, gezählt ab der Hauptringsteife oder dem Randwinkel oder dem Dach

j Nummer der Nebenringsteife, gezählt ab der Hauptringsteife oder dem Dacheckring

k Kronenring

k charakteristischer Wert

m Mittelwert

min kleinster zulässiger Wert

n Nennwert

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

n	normal (rechtwinklig) zur Wand
o	außen
o	nach außen gerichtet
p	Druck
r	radial
r	Ring
R	Widerstand
s	am Auflager
s	Schalenwand
T	zylindrische Schalenwand des Tanks
x	axial (meridional in einem Zylinder)
θ	Umfangs-
z	quer
y	Fließ-
0	Bezugswert
1	oberer
2	unterer
θ	Umfangs-
ϕ	meridional

3.3 Vorzeichenvereinbarungen

3.3.1 Vereinbarungen für das Achsensystem eines globalen Tanktragwerks

(1) Die im Folgenden angegebene Vorzeichenvereinbarung gilt für das gesamte kreisrunde Tanktragwerk und erkennt an, dass der Tank kein Tragwerksteil ist. Bei den Koordinatensystemen ist darauf zu achten, dass lokale Koordinaten von Bauteilen, die mit der Schalenwand verbunden sind, und in lokalen Koordinaten angegebene, aber durch eine globale Koordinate definierte Lasten nicht verwechselt werden.

(2) Im Allgemeinen wird für das globale Tanktragwerk folgendes zylindrische Koordinatensystem (siehe Bild 3.1b) verwendet:

Koordinatensystem

Koordinate auf der Mittelachse einer Rotationsschale	x
Radiale Koordinate	r
Koordinate in Umfangsrichtung	θ

(3) Die Vereinbarung für die positiven Richtungen ist:

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

Zugspannungen positiv (ausgenommen bei Beulnachweisen, wo Druck positiv ist)

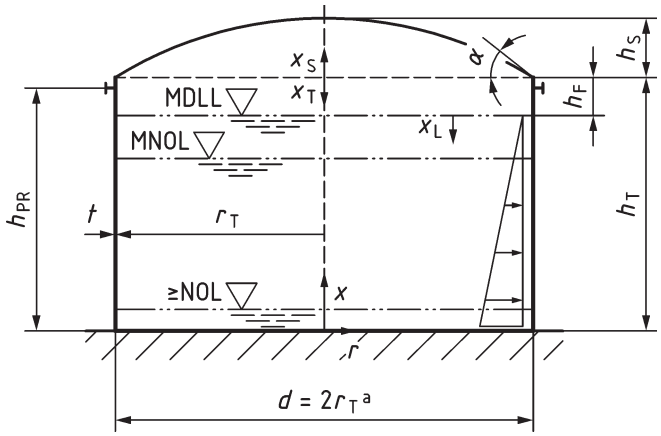
Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

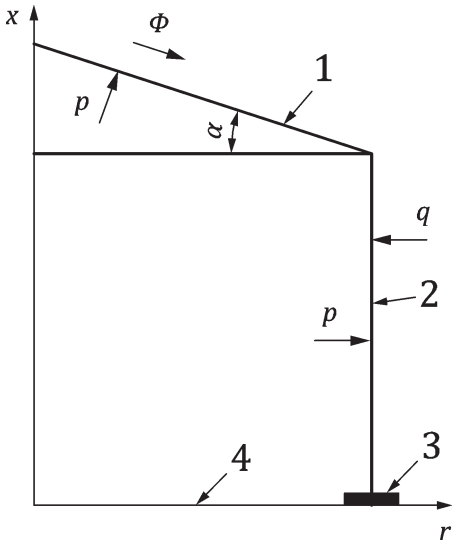
(4) Die Vereinbarung für Flächenlasten auf der Oberfläche der Tankwand ist:

— Druck rechtwinklig zur Oberfläche (Druck nach außen positiv) p

— Druck rechtwinklig zur Oberfläche (Druck nach innen positiv) q



a) Auf dem Boden aufliegendes zylindrisches Tankbauwerk mit kugelförmigem Kuppeldach, mit wichtigen Ebenen dargestellt



b) Vertikaler Schnitt durch ein kreisförmiges Tankbauwerk mit kegelförmigem Dach: Koordinaten und Belastung

Legende
1 Dach
2 zylindrische Schale
3 Bodenrandblech
4 Boden
a Durchmesser des Grundrisses

Bild 3.1 — Kreisförmige Tankbauwerke: Allgemeine Deskriptoren

ANMERKUNG Aus Gründen der Einfachheit und Deutlichkeit wurde in Bild 3.1 nur der Flüssigkeitsstand MDLL durch seine räumliche Lage mit der entsprechenden Koordinate x_L gekennzeichnet. Die anderen festgelegten Flüssigkeitsstände MNOL und min NOL sind gekennzeichnet, aber ihre Lage ist nicht gekennzeichnet.

3.3.2 Vereinbarungen für die Achsen von Tragwerksteilen in kreisförmigen Tanks

(1) Die Notation und Vorzeichenvereinbarung für Ringsteifen und Windträger, die mit der Tankwand verbunden sind (Bild 3.2), ist wie folgt:

— Achse der Umfangskoordinate (gekrümmt) θ

— Biegemomente M_θ und Widerstandsmomente I_θ für Umfangsspannungen σ_θ

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

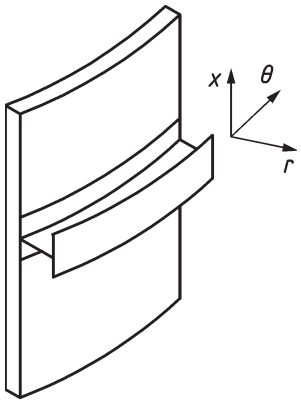


Bild 3.2 — Lokales Koordinatensystem für Ringsteifen, Windträger oder Umfangssteifen an einer zylindrischen Schale

3.3.3 Vereinbarungen für Spannungsresultanten bei kreisförmigen Tanks

(1) Die Vereinbarung für Indizes zur Angabe von Membrankräften ist:

Bei direkten Spannungsresultanten „ergibt sich der Index aus der Richtung, in welcher die Normalspannung durch die Kraft erzeugt wird“. Für die Membranschub- und Drillmomente wird die Vorzeichenvereinbarung in Bild 3.3 gezeigt.

Membranspannungsresultanten:

n_x Axialmembranspannungsresultante in einer zylindrischen Schale

n_ϕ Membranspannungsresultante in Meridianrichtung in einer kegelförmigen oder kugelförmigen Schale

n_θ Membranspannungsresultante in Umfangsrichtung in Schalen

$n_{x\theta}$ Membranschubspannungsresultante in einer zylindrischen Schale

$n_{\phi\theta}$ Membranschubspannungsresultante in einer kegelförmigen oder kugelförmigen Schale

Membranspannungen:

σ_{mx} Axialmembranspannung in einer zylindrischen Schale

$\sigma_{m\phi}$ Membranspannungsresultante in Meridianrichtung in einer kegelförmigen oder kugelförmigen Schale

$\sigma_{m\theta}$ Membranspannung in Umfangsrichtung in Schalen

$\tau_{mx\theta}$ Membranschubspannung in einer zylindrischen Schale

$\tau_{m\phi\theta}$ Membranschubspannung in einer kegelförmigen oder kugelförmigen Schale

(2) Die Vereinbarung für Indizes zur Angabe von Momenten ist:

Der Index ergibt sich aus der Richtung, in welcher die Normalspannung durch das Moment erzeugt wird. Für Drillmomente wird die Vorzeichenvereinbarung in Bild 3.3 gezeigt.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

ANMERKUNG 1 Diese Vereinbarung bei Blechen und Schalen weicht von der für Biegeträger und Stützen in EN 1993-1-1 und EN 1993-1-3 ab. Bei deren Verwendung in Verbindung mit diesen Bestimmungen ist Vorsicht geboten.

ANMERKUNG 2 Um den Begriffen zu Biegung für Schalentragwerke zu entsprechen, werden die vertikalen Spannungen in der Schale und in jeder vertikalen Steife mit σ_x bezeichnet. Die Biegemomente, die vertikale Spannungen in einer vertikalen Steife herbeiführen, werden mit M_x bezeichnet, und das Flächenträgheitsmoment der Biegung einer Steife in vertikale Richtung (Spannungen in vertikale Richtung) (Bild 3.3a) wird mit I_x bezeichnet (nicht mit I_θ, wie es bei einem Tragwerksteil nach EN 1993-1-1 der Fall wäre). Ähnlich werden die Umfangsspannungen in der Schale und in einer Ringsteife mit σ_θ bezeichnet. Die Biegemomente, die Umfangsspannungen in einer Ringsteife hervorrufen, werden mit M_θ bezeichnet, und das Flächenträgheitsmoment einer Ringsteife (Bild 3.2) bei Biegung in der Ebene der Ringsteife (Spannungen in Umfangsrichtung) wird mit I_θ bezeichnet. Diese letzte Notation ist wichtig für die erforderliche Steifigkeit von Ringsteifen, um den Widerstand gegen Beulen unter Druck von außen oder unter Windbelastung zu unterstützen.

Biegespannungsresultanten:

- m_x Axialbiegemoment je Längeneinheit in einer zylindrischen Schale
- m_ϕ Biegemoment in Meridianrichtung je Längeneinheit in einer kegelförmigen oder kugelförmigen Schale
- m_θ Umfangsbiegemoment je Längeneinheit in Schalen
- $m_{x\theta}$ Drillmoment je Längeneinheit in einer zylindrischen Schale
- $m_{\phi\theta}$ Drillmoment je Längeneinheit in einer kegelförmigen oder kugelförmigen Schale

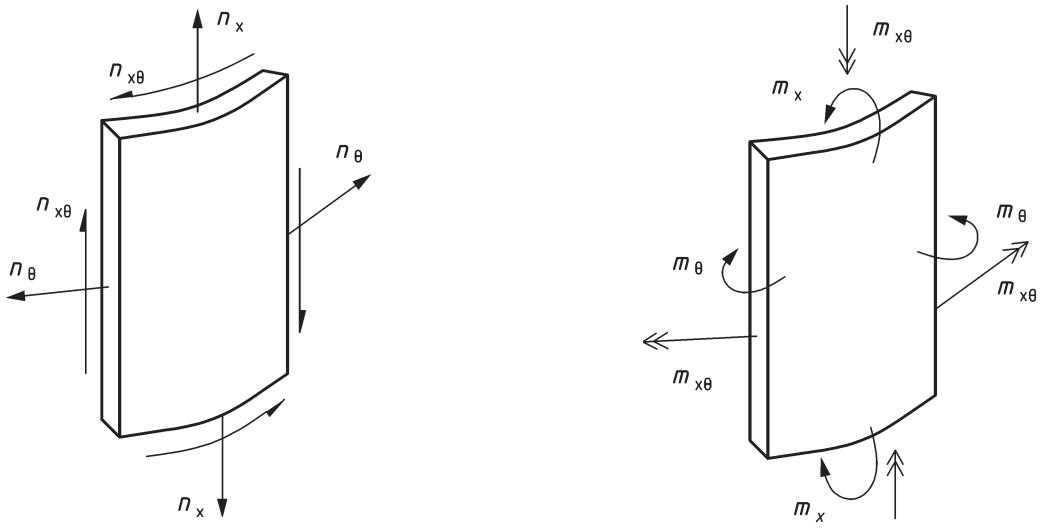
Biegespannungen:

- σ_{bx} Axialbiegespannung in einer zylindrischen Schale
- $\sigma_{b\phi}$ Biegespannung in Meridianrichtung in einer kegelförmigen oder kugelförmigen Schale
- $\sigma_{b\theta}$ Umfangsbiegespannung in Schalen
- $\tau_{bx\theta}$ Schubspannung infolge der Drillmomente in einer zylindrischen Schale
- $\tau_{b\phi\theta}$ Schubspannung infolge der Drillmomente in einer kegelförmigen oder kugelförmigen Schale

Randfaserspannungen innen und außen:

- σ_{six}, σ_{sox} innere, äußere Randfaserspannung in Axialrichtung
- $\sigma_{si\phi}$, $\sigma_{so\phi}$ innere, äußere Randfaserspannung in Meridianrichtung
- $\sigma_{si\theta}$, $\sigma_{so\theta}$ innere, äußere Randfaserspannung in Umfangsrichtung in Schalen

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02



a) Membranspannungsresultanten **b) Biegespannungsresultanten**

Bild 3.3 — Spannungsresultanten in einer zylindrischen Schalenwand

ANMERKUNG Die Pfeile für Schub und Verdrehen in Bild 3.3 folgen nicht den strengen Notationsregeln der Mechanik, da $n_{\theta x}$ und $m_{\theta x}$ in EN 1993-1-6 bzw. EN 1993-4-2 nicht verwendet werden, und auch die Richtungen dieser Spannungsresultanten machen keinen Unterschied bei den Berechnungsregeln. Eine Unterscheidung zwischen $n_{x\theta}$ und $n_{\theta x}$ oder zwischen $m_{x\theta}$ und $m_{\theta x}$ wäre irreführend.

4 Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung

4.1 Grundlegende Anforderungen

(1) Die Bemessung von Tankbauwerken aus Stahl muss in Übereinstimmung mit den allgemeinen Regeln von EN 1990 und der Normenreihe EN 1991 sowie mit den spezifischen Bemessungsvorschriften für Stahltragwerke der Normenreihe EN 1993-1 erfolgen.

(2) Tankbauwerke, die nach diesem Dokument bemessen und konstruiert wurden, müssen nach EN 1090-2 mit den in den zutreffenden Teilen von EN 1993 oder mit den in den maßgebenden Werkstoff- und Produktspezifikationen festgelegten Baustoffen und -produkten ausgeführt werden.

(3) Die Tragwerksbemessung des Tanktragwerks sollte alle schalen- und plattenförmigen Profile des Tragwerks berücksichtigen, einschließlich aller Steifen, Rippen, Ringe und Anbauten.

(4) Wenn der Beulwiderstand kritisch ist, sollten die in EN 1993-1-6 festgelegten Herstellungstoleranzen angewendet werden.

ANMERKUNG Die in EN 1993-1-6 angewendete Toleranzmessung für Schwankungen in Umfangsrichtung in der Tankwand kann entweder mit einer physischen Schablone oder mit einer anderen geeigneten Messung wie beispielsweise einem Laserscan durchgeführt werden.

(5) Die Bemessung einer Unterstützungskonstruktion für ein Tankbauwerk wird durch die Bestimmungen in EN 1993-1-1 für Stahltragwerke und in EN 1992-1-1 für Betontragwerke abgedeckt.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

(6) Eine Unterstützungskonstruktion sollte nicht als Teil des Tankbauwerks betrachtet werden. Ebenso sollten andere Strukturen, die vom Tankbauwerk unterstützt werden, so behandelt werden, dass sie dort beginnen, wo die Tankwand oder die Anbauten enden. Allerdings sollten Interaktionen zwischen der Unterstützungskonstruktion und dem Tankbauwerk (z. B. Ermüdung in der Unterstützungskonstruktion infolge veränderlicher Tanklasten, seismische Interaktionen usw.) berücksichtigt werden.

(7) Die Bemessung von Anbauten wie Treppen, Arbeitsbühnen, Rohrbrücken und Steigleitern wird durch die zutreffenden Regeln in EN 1993-1-1 und EN 1992-1-1 abgedeckt.

(8) Die Bemessung eines Dachtragwerkes aus Aluminium für ein Tankbauwerk aus Stahl wird durch die Bestimmungen in EN 1999-1-5 abgedeckt.

(9) Die Bemessung eines konischen Auslauftrichters für ein Tankbauwerk wird durch die Bestimmungen in EN 1993-4-1 abgedeckt.

(10) Die Bemessung eines Übergangs zwischen dem Fuß einer zylindrischen Schalenwand und einem konischen Auslauftrichter und die Bemessung eines unterstützenden Ringträgers in einem aufgeständerten Tankbauwerk werden durch die Bestimmungen in EN 1993-4-1 abgedeckt.

(11) Stahlbetonfundamente für Tankbauwerke aus Stahl werden durch die Bestimmungen in Normenreihe EN 1992 und Normenreihe EN 1997 abgedeckt.

(12) Zahlenwerte der spezifischen Einwirkungen auf Tankbauwerke aus Stahl sind in EN 1991-4 angegeben. Die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen sind in EN 1990:2023, A.4, angegeben.

(13) Tankbauwerke sollten so bemessen und konstruiert sein, dass sie unter der Berücksichtigung der bestimmungsgemäßen Verwendung des Tankbauwerks nach Möglichkeit schadenstolerant sind.

(14) Bestimmte Anforderungen für besondere Anwendungen dürfen durch die zuständige Behörde festgelegt werden oder dürfen, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien vereinbart werden.

(15) Situationen, die während der Bauausführung eintreten können, sollten besonders berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Weitere Bemessungsanforderungen sind in den anderen Teilen der Eurocodes festgelegt (EN 1990 bis EN 1999), einschließlich EN 1997 für Gründungen und Setzungen sowie EN 1090-2 für die Herstellung und Ausführung. Weitere nützliche Informationen für Tankbauwerke bei Umgebungstemperatur sind in EN 14015 angegeben und für RLG-Tanks in EN 14620-2. Die Informationen in diesen beiden Normen beziehen sich auch auf Fundamente und Bodensetzung, Herstellung, Montage, Prüfung, Funktion und Details wie Mannlöcher, Flansche und Befüllvorrichtungen.

(16) Für Tankbauwerke bei Umgebungstemperatur entsprechen Herstellung und Montage von auf dem Boden aufliegenden Flachboden-Tanks auch den zusätzlichen maßgebenden Anforderungen von EN 14015, wobei sie denen der Eurocodes und denen in EN 1090-2 nicht widersprechen.

4.2 Einheiten

(1) Für die Anwendung dieser Norm werden S. I.-Einheiten nach ISO 1000 verwendet.

(2) Für die Berechnungen werden die zwei folgenden alternativen konsistenten Einheiten empfohlen:

— Maße:	m	mm
— spezifisches Gewicht:	kN/m^3	N/mm^3
— Kräfte und Lasten:	kN	N

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

— Kräfte je Längeneinheit und Linienlasten:	kN/m	N/mm
— Drücke und Flächenlasten:	kPa	MPa (= N/mm^2)
— spezifische Masse:	t/m^3	t/mm^3
— Beschleunigung:	m/s^2	mm/s^2
— Membranspannungsresultanten:	kN/m	N/mm
— Biegespannungsresultanten:	kNm/m	Nmm/mm
— Spannungen und Elastizitätsmoduln:	kPa	MPa (= N/mm^2)

ANMERKUNG 1 Diese beiden alternativen einheitlichen Einheitensätze sind hier angegeben, weil die Konstrukteure von Tankbauwerken in der Vergangenheit oftmals Gleichungen verwendet haben, die vermischte uneinheitliche Einheiten enthielten, die für jede Gleichung festgelegt wurden. Alle Gleichungen in diesem Dokument sind ohne Einheiten angegeben. Die Notation t steht für metrische Tonne = 1 000 kg = 1 Mg.

ANMERKUNG 2 Wenn dynamische Berechnungen notwendig sind, wird die strenge Einhaltung von S. I.-Einheiten empfohlen.

4.3 Klassifizierung von Tankbauwerken

4.3.1 Differenzierung der Zuverlässigkeit

(1) Für die Differenzierung der Zuverlässigkeit siehe EN 1990:2023, Abschnitt A.4.

(2) Die Einstufung eines Tankbauwerks in eine Versagensfolgeklasse ist in EN 1990:2023, Abschnitt A.4, basierend auf den Versagensfolgen angegeben. Die Einstufung nach den Regeln der Tragwerksbemessung vereint die Versagensfolgeklasse mit der Klasse der strukturellen Komplexität zu einer Einstufung in eine einzige Tankgruppe.

4.3.2 Klassifizierung der strukturellen Komplexität für Tanks

(1) Die Klasse der strukturellen Komplexität für einen Tank muss anhand der Bedingungen des einzelnen Tanks bestimmt werden.

(2) Die Maße des Tanks sollten als ein kritischer Teil der Bewertung der Klasse der strukturellen Komplexität betrachtet werden.

(3) Der Einfluss der Tankgröße auf die Wahl der Klasse der strukturellen Komplexität sollte mithilfe des Parameters w_g bestimmt werden, der mit Gleichung (4.1) berechnet wird:

$$w_g = \sqrt{d h_g} \tag{4.1}$$

Dabei ist

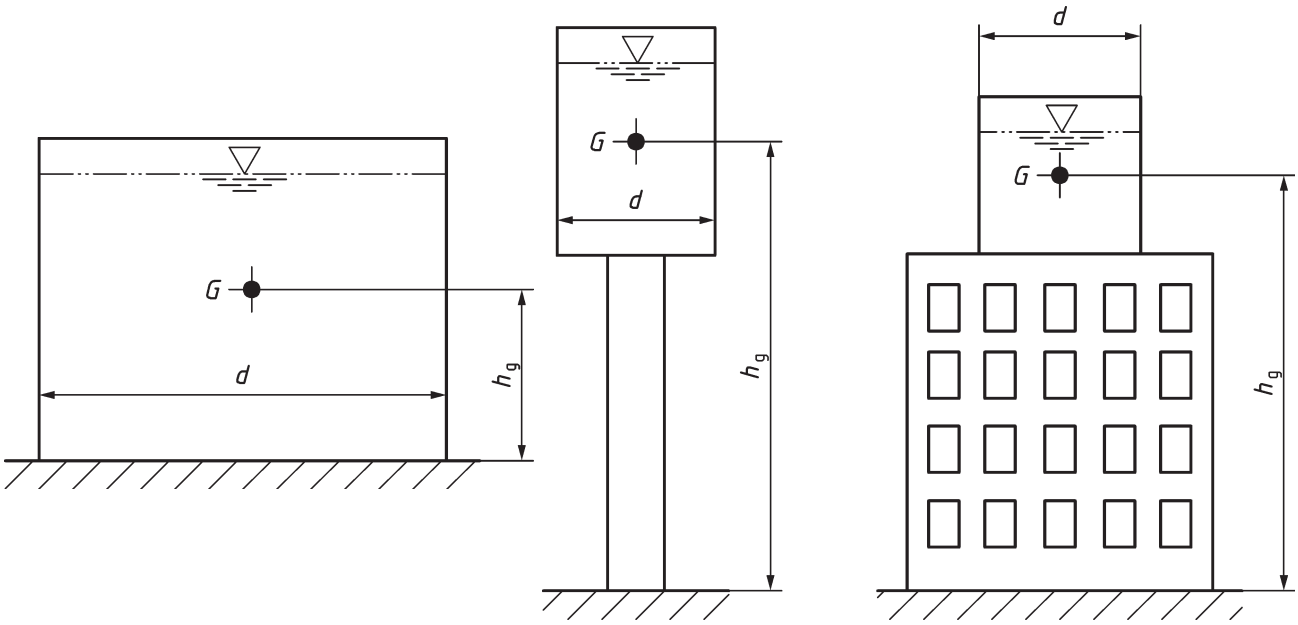
d der Durchmesser des Tanks (Bild 4.1);

h_g die Höhe des Massenmittelpunktes der gelagerten Flüssigkeit über dem Boden (siehe Bild 4.1) bei dem maximalen Normalspiegel in Betrieb (MNOL) (siehe 3.1.23).

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

ANMERKUNG 1 Quantifizierte Grenzwerte des Parameters w_g für jede Klasse der strukturellen Komplexität für Tankbauwerke sind in Tabelle 4.1 (NDP) angegeben, sofern der Nationale Anhang keine anderen quantifizierten Grenzwerte angibt.

ANMERKUNG 2 Der Parameter w_g liefert ein leicht verständliches Einzelmaß, das sich auf die potentielle Energie der gelagerten Flüssigkeit bezieht, auch wenn die Flüssigkeitsdichte vernachlässigt wird.



a) Höhe des Massenmittelpunktes der Flüssigkeit in dem auf dem Boden aufliegenden Tankbauwerk

b) Höhe des Massenmittelpunktes der Flüssigkeit in aufgeständerten Tankbauwerken

Bild 4.1 — Für die Klasse der strukturellen Komplexität festgelegte Maße

Tabelle 4.1 (NDP) — Beschreibungen und quantifizierte Grenzwerte für den Parameter w_g für Klassen der strukturellen Komplexität für Tankbauwerke

Klasse der strukturellen Komplexität	Beschreibungen und Grenzen des Parameters w_g
Klasse 3 der strukturellen Komplexität	a) Aufgeständerte Tanks auf diskreten Auflagern mit $w_g \geq 30$ m b) Tanks einer Destillationskolonne
Klasse 2 der strukturellen Komplexität	alle anderen Tankbauwerke innerhalb des Anwendungsbereiches dieser Norm
Klasse 1 der strukturellen Komplexität	Tanks mit $2 < w_g \leq 15$ m
Klasse 0 der strukturellen Komplexität	Tanks mit $w_g \leq 2$ m

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

4.3.3 Klassifizierung der Tankgruppe

(1) Bei der Bemessung von Tanktragwerken sollten in Abhängigkeit von der Tankgruppe, der der Tank angehört, der konstruktiven Anordnung sowie der Anfälligkeit für verschiedene Versagensarten unterschiedliche Genauigkeitsniveaus angewendet werden.

(2) Die Einstufung in eine Tankgruppe sollte anhand der Bedingungen des einzelnen Tanks erfolgen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann die Bedingungen zur Unterscheidung zwischen Tankgruppen auf der Grundlage des Standorts, der Größe, der gelagerten Flüssigkeit und der Belastung, der Bauform und der betrieblichen Aspekte festlegen (siehe EN 1990:2023, A.4, und EN 1991-4). Er kann auch geeignete Werte für die Grenzen zwischen den Klassen festlegen.

(3) In dieser Norm werden vier Tankgruppen verwendet. Hierfür gelten Anforderungen, die zu Konstruktionen mit im Wesentlichen vergleichbaren Bedürfnissen hinsichtlich der Entwurfsbewertung führen und den Aufwand und die Verfahren berücksichtigen, die notwendig sind, um die Sicherheit der verschiedenen Tragwerke sicherzustellen: Tankgruppen 0, 1, 2 und 3, wie in Tabelle 4.2 angegeben.

ANMERKUNG Tankbauwerke, die in Tankgruppe 4 eingestuft werden könnten, entsprechen Tragwerken der Versagensfolgeklasse 4 (EN 1990), die nicht in den Anwendungsbereich der Eurocodes fallen, da zusätzliche Informationen für deren Bemessung erforderlich sind.

(4) Die Tragwerksbemessung sollte entsprechend den Bestimmungen für die in diesem Teil angegebene jeweilige Tankgruppe erfolgen.

(5) Die Bestimmungen für eine höhere Tankgruppe als die geforderte können immer an die Bemessung angepasst werden.

(6) Die Tankgruppe sollte entsprechend den Festlegungen der zuständigen Behörde gewählt werden oder sollte, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien vereinbart werden.

ANMERKUNG Die Einstufung eines Tankbauwerks in eine Tankgruppe ist in Tabelle 4.2 angegeben, sofern keine andere Festlegung nach (6) getroffen wurde.

Tabelle 4.2 — Entsprechend der Klasse der strukturellen Komplexität (SCC, en: structural complexity class) und der Versagensfolgeklasse (CC, en: consequence class) gewählte Tankgruppe (TG)

Klasse der strukturellen Komplexität (SCC)	Höher (CC3)	Normal (CC2)	Niedriger (CC1)	Niedrigste (CC0)
Höher (SCC3)	TG3	TG3	TG2	TG1
Normal (SCC2)	TG3	TG2	TG2	TG0
Niedriger (SCC1)	TG3	TG2	TG1	TG0
Niedrigste (SCC0)	TG2	TG2	TG1	TG0

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

4.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten

4.4.1 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Tankbauwerke

(1) Für ständige, vorübergehende und außergewöhnliche Bemessungssituationen müssen die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F von EN 1990:2023, Abschnitt A.4, übernommen werden.

(2) Die in EN 1990 festgelegten allgemeinen Anforderungen sollten eingehalten werden.

(3) Die empfohlenen Werte der Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen durch Flüssigkeiten auf Tankbauwerke sind in EN 1990:2023, Abschnitt A.4, festgelegt.

ANMERKUNG Die Werte der Teilsicherheitsbeiwerte γ_F für Tankbauwerke können im Nationalen Anhang festgelegt werden. Empfohlene Werte für die Lasten aus Flüssigkeiten sind in EN 1990:2023, A.4, angegeben.

4.4.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände

(1) Wenn Tragwerkseigenschaften durch Versuche bestimmt werden, sollten die Anforderungen und Verfahren von EN 1990 eingehalten werden.

(2) Die Nachweise für die Ermüdungsfestigkeit sollten prEN 1993-1-6:2023, Abschnitt 10, und EN 1993-1-9 entsprechen.

(3) Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für verschiedene Grenzzustände müssen Tabelle 4.3 entnommen werden.

Tabelle 4.3 — Teilsicherheitsbeiwerte für den Widerstand von Tankbauwerken

Widerstand gegen folgende Versagensarten	**Maßgebender Teilsicherheitsbeiwert γ**
Widerstand von geschweißten oder geschraubten Wänden gegen plastisches Versagen	γ_{M0}
Stabilitätswiderstand der Schalenwand	γ_{M1}
Bruchwiderstand der geschraubten Wand	γ_{M2}
Widerstand gegen zyklische Plastizierung	γ_{M4}
Ermüdungsfestigkeit	γ_{Mf}

(4) Für die Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände von Tankbauwerken werden die Zahlenwerte in Tabelle 4.4 empfohlen.

ANMERKUNG 1 Die Zahlenwerte für die Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände von Tankbauwerken sind in Tabelle 4.4 angegeben, sofern der Nationale Anhang keine anderen Werte angibt.

Tabelle 4.4 (NDP) — Zahlenwerte für Teilsicherheitsbeiwerte für den Widerstand von Tankbauwerken

$\gamma_{M0} = 1{,}1$	$\gamma_{M1} = 1{,}1$	$\gamma_{M2} = 1{,}25$
	$\gamma_{M4} = 1{,}00$	γ_{Mf} siehe EN 1993-1-9

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

ANMERKUNG 2 Einige der in Tabelle 4.4 angegebenen Zahlenwerte unterscheiden sich von denen in EN 1993-1-1, weil die gesamte zylindrische Schale des Tanks unter Membranspannung steht und ein Versagen hier katastrophal wäre. Im Gegensatz dazu ist die Belastung sehr gut definiert, weshalb EN 1990:2023, A.4, keinen höheren Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen fordert.

(4) Wenn warmgewalzte Stahlprofile als Teil eines Tanktragwerks genutzt werden (z. B. eine erhöhte Arbeitsbühne am Tankdach oder ein Fachwerk zur Unterstützung des Daches), sollten die zutreffenden Teilsicherheitsbeiwerte aus EN 1993-1-1 übernommen werden.

(5) Sicherheitsbeiwerte für werksgefertigte Tanks können von den zuständigen Behörden festgelegt werden. Bei der Anwendung auf werksgefertigte Tanks dienen die hier angegebenen Beiwerte nur als Richtwerte. Sie werden angegeben, um die Niveaus anzugeben, die wahrscheinlich zum Erreichen einer gleichbleibenden Zuverlässigkeit mit anderen Bauformen notwendig sind.

4.4.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

(1) Wenn in den maßgebenden Vorschriften, die sich mit den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit beschäftigen, vereinfachte Verträglichkeitsregeln gegeben sind, dürfen detaillierte Berechnungen mit Einwirkungskombinationen ausgelassen werden.

(2) Für alle Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sollten die Werte für γ_{Mser} festgelegt werden.

ANMERKUNG Der Wert von γ_{Mser} beträgt 1,0, sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist.

4.5 Grenzzustände

(1) Für Tankbauwerke sollten die in EN 1993-1-6 festgelegten Grenzzustände angewendet werden.

— Globale Stabilität und statisches Gleichgewicht wie ein Starrkörper;

— LS1: plastische Grenze;

— LS2: zyklische Plastizierung;

— LS3: Beulen;

— LS4: Ermüdung.

4.6 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse

(1) Die in EN 1990:2023, Abschnitt 4, festgelegten allgemeinen Anforderungen müssen erfüllt werden.

4.7 Werkstoffeigenschaften

(1) Die in EN 1993-1-1, EN 1993-1-10 und EN 1993-1-4 angegebenen allgemeinen Anforderungen an die Werkstoffeigenschaften, soweit zutreffend, sollten erfüllt werden, mit Ausnahme der Festlegung in Abschnitt 5.

(2) Es sollten die in Abschnitt 5 dieses Dokuments angegebenen spezifischen Werkstoffeigenschaften für Tanks verwendet werden.

(3) Aufgrund des Risikos von Spannungsrisskorrosion sollte besonders auf die Wahl der Stahlsorte für Tanks und Tragwerke zur Lagerung von Ammoniak geachtet werden. Dies gilt insbesondere auch für Schweißzusätze. Außerdem müssen der Schweißprozess, die Behandlung nach dem Schweißen und die Produktionskontrolle entsprechend angepasst werden.

(4) Die Wahl der Stahlsorte sollte an das zu lagernde Medium angepasst sein und sollte mit der gelagerten Flüssigkeit verträglich sein, um abbauende Wirkungen zu vermeiden.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

4.8 Geometrische Größen

(1) Die allgemeinen Informationen in EN 1990 über geometrische Größen dürfen verwendet werden.

(2) Weitere Informationen speziell für Schalentragwerke (z. B. die Oberflächenkrümmung, die nach innen oder nach außen gerichtete Exzentrizität einer Steife, die Eigenschaften von Ringsteifen), die in EN 1993-1-6 angegeben sind, dürfen verwendet werden.

(3) In den Berechnungen sollten die in 6.1.2 angegebenen Blechdicken verwendet werden.

4.9 Modellierung des Tankbauwerks zur Bestimmung der Schnittgrößen

(1) Die allgemeinen Anforderungen von EN 1990 müssen befolgt werden.

(2) Die in Abschnitt 14 für die Tragwerksberechnung im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit festgelegten spezifischen Anforderungen sollten für die maßgebenden Tragwerksabschnitte verwendet werden.

(3) Die in 6.2 (und detaillierter in EN 1993-1-6) für die Tragwerksberechnung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit festgelegten spezifischen Anforderungen sollten angewendet werden.

4.10 Versuchsgestützte Bemessung

(1) Die in EN 1990:2023, Anhang D, festgelegten allgemeinen Anforderungen sollten eingehalten werden.

4.11 Dauerhaftigkeit

(1) Die in EN 1990 festgelegten allgemeinen Anforderungen an die Dauerhaftigkeit sollten befolgt werden.

(2) Die Verantwortlichkeit für Korrosionsabtrag in einem Tankbauwerk liegt beim Kunden, Eigentümer oder Endanwender.

(3) Die zu erwartende Lebensdauer des Tankbauwerks und dessen vorgesehene Verwendung sollten zwischen Kunde, Ingenieur und zuständiger Behörde vereinbart werden.

(4) Der Umfang des Korrosionsabtrags hängt von der gelagerten Flüssigkeit, der Stahlsorte, der Wärmebehandlung, der zu erwartenden Lebensdauer des Tankbauwerks sowie den Korrosionsschutzmaßnahmen für die Konstruktion ab.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann geeignete Werte für den Korrosionsabtrag für bestimmte Flüssigkeiten in Kontakt mit festgelegten Werkstoffen für die Tankwand für eine definierte zu erwartende Lebensdauer auswählen.

(5) Ist gegebenenfalls ein von der zuständigen Behörde genehmigtes Schutzsystem vorgesehen, um den Schutz gegen Korrosion sicherzustellen (z. B. Emaillierung oder Epoxidharzüberzug oder verzinkte innere Oberfläche, kathodischer Korrosionsschutz usw.), brauchen keine Bestimmungen hinsichtlich des Korrosionsabtrags berücksichtigt zu werden.

(6) Die durch die Auswirkungen der Korrosion bedingte Dickenreduktion der Schalenwand und aller anderen Tankbauteile sollte zwischen Tragwerksplaner, Kunde und zuständiger Behörde unter Berücksichtigung der vorgesehenen Verwendung, vorhandener Innenauskleidung, der Beschaffenheit des flüssigen Lagergutes und der zu erwartenden Lebensdauer des Tankbauwerks vereinbart werden. Unterschiedlichen Tankbauteilen dürfen unterschiedliche Dickenreduktionen zugewiesen werden.

ANMERKUNG Weitere nützliche Informationen sind in EN 12285-1 enthalten, soweit sie praktisch anwendbar sind.

(7) Berücksichtigt werden sollte auch die Korrosion durch die Atmosphäre über der Füllhöhe der gelagerten Flüssigkeit, besonders wenn diese korrosiven Dampf wie beispielsweise Wasserdampf enthalten kann.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

(8) Die Wanddickenverluste und die Beschädigung innerer Strukturen infolge der Korrosion sollten bei den Bemessungsberechnungen berücksichtigt werden.

(9) Der Dickenverlust des Bodenblechs des Tanks infolge Korrosion sollte bei der Bemessung berücksichtigt werden.

(10) Hinweise für die Auswahl der nichtrostenden Stähle im Hinblick auf Korrosionseinwirkungen dürfen EN 1993-1-4 entnommen werden.

(11) Geeignete Festlegungen sollten in Bezug auf die regelmäßige Inspektion der Wanddicke des Tankbauwerkes mit Verweis auf die ursprüngliche Bemessungsdicke bei jeder Füllhöhe getroffen werden.

5 Werkstoffeigenschaften

5.1 Allgemeines

(1) Alle für Tankbauwerke verwendeten Stähle sollten schweißbar sein, damit im Bedarfsfall später Veränderungen am Tank durchgeführt werden können.

(2) Alle für Tankbauwerke mit kreisförmigem Grundriss verwendeten Stähle sollten kalt zu gebogenen Blechen oder gebogenen Teilen verformbar sein.

(3) Die in jeder zutreffenden Bezugsnorm angegebenen Werkstoffeigenschaften sollten als Nennwerte angesehen werden, die als charakteristische Werte für die Bemessungsberechnungen anzunehmen sind.

(4) Besteht die Möglichkeit, dass der Tank mit einer heißen Flüssigkeit befüllt wird, sollten die anzuwendenden Bemessungswerte entsprechend auf Werte der Werkstoffeigenschaften abgemindert werden, die der zu erwartenden Höchsttemperatur entsprechen (siehe 5.4.2). Eine Abnahme des Elastizitätsmoduls bei erhöhten Temperaturen sollte besonders beachtet werden, da viele Knickfälle in Tanks unter elastischen Bedingungen eintreten (siehe EN 1993-1-6 und EN 1993-1-2).

(5) Die in diesem Dokument angegebenen Verfahren für die rechnerische Bemessung dürfen für alle Baustähle verwendet werden, die in einem der Teile von EN 1993 festgelegt sind, sofern das Verhältnis f_u/f_y nicht kleiner ist als 1,05.

5.2 Unlegierter Stahl und Kohlenstoff-Mangan-Stahl

(1) Die Wahl des unlegierten Stahls oder des Kohlenstoff-Mangan-Stahls für ein Bauvorhaben sollte zwischen dem Tragwerksplaner, dem Bauherren und der zuständigen Behörde vereinbart werden.

ANMERKUNG EN 14015 und EN 14620-2 enthalten hilfreiche Listen.

(2) Die mechanischen Eigenschaften sollten der Normenreihe EN 10025, der Normenreihe EN 10149, der Normenreihe EN 10216, der Normenreihe EN 10217 und der Normenreihe EN 10028 entsprechen und sollten, soweit zutreffend, aus EN 1993-1-1, EN 1993-1-3 und EN 1993-1-12 übernommen werden, mit der Ausnahme der Festlegung in (3).

(3) Für die von diesem Dokument abgedeckten Stähle sollte der Bemessungswert der Querdehnungszahl mit $\nu = 0{,}3$ angesetzt werden. Der charakteristische Wert des Elastizitätsmoduls für Baustahl sollte mit $E = 200\,000\ \mathrm{N/mm^2}$ angesetzt werden.

ANMERKUNG Elastisches Beulen kann in Tanktragwerken kritisch sein, weshalb eine konservative Schätzung des Elastizitätsmoduls vorgenommen wird, da der Teilsicherheitsbeiwert für Beulen γ_{M1} in allen Normen der Reihe EN 1993 einheitlich festgelegt wurde.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

(4) Tankbauwerke bei Umgebungstemperaturen, die aus unlegiertem Stahl oder Kohlenstoff-Mangan-Stahl gefertigt wurden, dürfen entsprechend den Regeln dieser Norm bemessen werden, sofern die Temperatur, der sie während der Nutzungsdauer ausgesetzt sind, im Bereich $-50\ °C \leq T \leq +300\ °C$ liegt. Für niedrigere Temperaturen siehe (5). Wenn ein Tank, der aus diesen Werkstoffen besteht, anfällig ist für Ermüdungsversagen, sollte die Temperatur auf $T \leq 150\ °C$ begrenzt werden.

ANMERKUNG Die in diesen Bestimmungen in Bezug genommenen Temperaturen gelten für die Betriebstemperatur des Tanks.

(5) Wenn ein Tank Betriebstemperaturen von unter $-50\ °C$ ausgesetzt sein kann, sollten die Sprödbruch- und Zähigkeitsanforderungen des Werkstoffes getrennt voneinander mithilfe der zutreffenden Werkstoffkennwerte behandelt werden. Geeignete Bestimmungen sind in EN 14620-2 angegeben.

(6) Die Werkstoffeigenschaften von Stahl bei Temperaturen über 50 °C sollten aus EN 1993-1-2 übernommen werden. Wenn sie übernommen werden, darf die reduzierte Elastizitätsgrenze konservativ als die temperaturabhängige Proportionalitätsgrenze $f_{p\theta}$ angesetzt werden. Die mechanischen Eigenschaften der nicht in EN 1993-1-2 enthaltenen Stahlsorten sollten auf zuverlässigen Informationen beruhen.

(7) Wenn die Bemessung eine Stabilitätsberechnung umfasst, sollten geeignete reduzierte Eigenschaften verwendet werden, entweder entsprechend der Betriebstemperatur (siehe EN 1993-1-2) oder entsprechend der Spannungs-Dehnungs-Kurve, wenn höhere Spannungen auftreten (siehe EN 1993-1-14). Es sollte der reduzierte Elastizitätsmodul E_{red} angewendet werden.

5.3 Nichtrostende Baustähle

(1) Die Auswahl der nichtrostenden Stähle für ein Bauvorhaben sollte zwischen dem Tragwerksplaner, dem Bauherren und der zuständigen Behörde vereinbart werden.

ANMERKUNG EN 14015 und EN 14620-2 enthalten hilfreiche Listen.

(2) Die mechanischen Eigenschaften von nichtrostendem Stahl nach EN 10088-4, EN 10088-5, EN 10028-7, EN 10216-5, EN 10217-7, EN 10272 und der Normenreihe EN 10222 sollten aus EN 1993-1-4 übernommen werden.

(3) Für Tanks bei Umgebungstemperatur, die aus nichtrostendem Stahl hergestellt sind, gelten die folgenden Temperaturbereiche im Rahmen der Regeln dieser Norm:

i) Tankbauwerke aus austenitischen nichtrostenden Stählen: $-50\ °C \leq T \leq +300\ °C$;

ii) Tankbauwerke aus austenitischen Spezialstahlsorten mit festgelegten Streckgrenzen bei höheren Temperaturen: $-50\ °C \leq T \leq$ die maximale festgelegte Temperatur für die Stahlsorte;

iii) Tankbauwerke aus austenitischen-ferritischen nichtrostenden Stählen: $-50\ °C < T < +250\ °C$;

iv) Tankbauwerke aus ferritischen nichtrostenden Stählen: $-10\ °C < T < +250\ °C$.

ANMERKUNG Für Tanks für tiefkaltes verflüssigtes Gas (RLG, en: refrigerated liquefied gas) siehe EN 14620-2.

(4) Die Werkstoffeigenschaften bei erhöhten Temperaturen von $T \geq 50\ °C$ sollten aus EN 10088-4 und EN 10088-5, oder aus EN 10028-7 übernommen werden.

(5) Wenn Knicken den Widerstand bei einer Temperatur über Umgebungstemperatur beeinflusst, sollten die reduzierten Modulwerte bei erhöhten Temperaturen entsprechend den Bestimmungen von EN 1993-1-4 übernommen werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

5.4 Zähigkeitsanforderungen

5.4.1 Allgemeines

(1) Die Bruchzähigkeitsanforderungen sollten bei der Bezugstemperatur T_{ed} nach EN 1993-1-10 für Kohlenstoffstähle und nach EN 1993-1-4 für nichtrostende Stähle bestimmt werden.

(2) Die niedrigste Auslegungswandtemperatur T_{MDMT} sollte nach 5.4.2 bestimmt werden. Die Temperatur T_{MDMT} sollte anstelle von $(T_{MD} + \Delta T_r)$ nach EN 1993-1-10 verwendet werden.

5.4.2 Niedrigste Auslegungswandtemperatur

(1) Die niedrigste Auslegungswandtemperatur T_{MDMT} sollte als der kleinste Wert der niedrigsten Temperatur des Lagergutes und der in Tabelle 5.1 und EN 1991-1-5 festgelegten Umgebungstemperaturen sein.

(2) Für die niedrigste über einen Tag gemittelte Umgebungstemperatur T_{LODMAT} sollte die niedrigste über einen Zeitraum von 24 h aufgezeichnete und gemittelte Temperatur angesetzt werden. Wenn ungenügend vollständige Aufzeichnungen verfügbar sind, darf für diese Durchschnittstemperatur der Mittelwert aus der höchsten und der tiefsten gemessenen Temperatur oder ein gleichwertiger Wert verwendet werden.

ANMERKUNG 1 Für die Ermittlung des maßgebenden Wertes für T_{LODMAT} kann die Betrachtung sowohl der zutreffenden Wiederkehrperiode als auch der Temperatur des Lagergutes erforderlich sein.

ANMERKUNG 2 Wegen der Verdampfung von Flüssigkeit während der Inbetriebnahme eines Tanks kann der Tank kurzzeitig Temperaturen unterhalb der Lagertemperatur ausgesetzt sein.

ANMERKUNG 3 Weitere nützliche Informationen können EN 1991-1-5 entnommen werden, wobei die maßgebende Temperatur T_{LODMAT} für andere Wahrscheinlichkeiten als $P = 0{,}02$ beurteilt werden kann. Insbesondere können die niedrigste Umgebungstemperatur im Winter auf der Grundlage von 50 Jahren und die für einen längeren Zeitraum (100 Jahre oder 200 Jahre) auch einfach für einen bestimmten Standort ermittelt werden.

Tabelle 5.1 — Niedrigste Auslegungswandtemperatur T_{MDMT} auf der Grundlage von T_{LODMAT}

Niedrigste über einen Tag gemittelte Umgebungstemperatur T_{LODMAT}	Niedrigste Auslegungswandtemperatur T_{MDMT}	
	Daten über 10 Jahre	Daten über 30 Jahre
$-10\ °C \leq T_{LODMAT}$	$T_{LODMAT} + 5\ °C$	$T_{LODMAT} + 10\ °C$
$-25\ °C \leq T_{LODMAT} \leq -10\ °C$	T_{LODMAT}	$T_{LODMAT} + 5°C$
$T_{LODMAT} \leq -25\ °C$	$T_{LODMAT} - 5\ °C$	T_{LODMAT}

6 Grundlagen der Tragwerksberechnung

6.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit

6.1.1 Grundlage

(1) Stahltragwerke und Bauteile aus Stahl sollten so dimensioniert werden, dass die in Abschnitt 4 angegebenen grundlegenden Anforderungen an Konstruktion und Bemessung erfüllt werden.

AVA Documents Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

6.1.2 Blechdicke für die Berechnung der Widerstände

(1) In den Berechnungen für die Widerstandsermittlung sollte die Bemessungsdicke eines Bleches als Klasse A nach EN 10029 unter der Berücksichtigung des maximalen Wertes der Minustoleranz angesetzt werden, es sei denn, es wurde eine andere Klasse zwischen dem Tragwerksplaner und dem Bauherren für ein bestimmtes Bauvorhaben vereinbart.

(2) Die Bemessungsblechdicke sollte um einen Wert für den Korrosionszuschlag, wie in 4.10 festgelegt, abgemindert werden.

6.1.3 Ermüdung

(1) Wenn von vielen vollständigen Lastwechseln aus Befüllen und Entleeren des Tanks ausgegangen wird, sollte das Tragwerk auf den Grenzzustand der Ermüdung hin überprüft werden (siehe EN 1993-1-6 und EN 1993-1-9). Die Art und Weise, wie die Lastwechsel gezählt werden sollten, ist in prEN 1991-4:2024, 11.6, festgelegt.

(2) Die Bemessung gegen Ermüdung bei geringen Lastwechselzahlen darf nach LS2 in EN 1993-1-6 durchgeführt werden.

ANMERKUNG Weitere Hinweise sind in [1] und [2] angegeben.

(3) Wenn veränderliche Einwirkungen mit mehr als 10 000 Lastwechseln während der geplanten Lebensdauer des Tankbauwerks auftreten, sollte die Konstruktion auf Ermüdung (LS4) nach prEN 1993-1-6:2023, Abschnitt 10, und EN 1993-1-9 überprüft werden.

6.1.4 Berücksichtigung von Temperatureinflüssen

(1) Der Einfluss von Temperaturunterschieden zwischen Teilen des Tragwerkes sollte bei der Ermittlung der Spannungsverteilung je nach betrachtetem Grenzzustand der Tragfähigkeit bestimmt werden.

6.2 Berechnung eines kreisförmigen zylindrischen Schalentragwerks eines Tanks

6.2.1 Modellierung des Schalentragwerks

(1) Für Tanks bei Umgebungstemperaturen sollte die Modellierung des gesamten Schalentragwerks den Anforderungen von EN 1993-1-6 entsprechen, aber diese dürfen unter den folgenden Voraussetzungen als erfüllt angesehen werden:

— das Schalentragwerk besteht aus zylindrischen, kegelförmigen, kugelförmigen oder torusförmigen Segmenten;

— die Modellierung des Schalentragwerks umfasst alle Steifen, Öffnungen und Anbauten, es sei denn, es kann für jede Versagensart separat gezeigt werden, dass diese Teile das Tragwerk nicht schwächen;

— die Bemessungsdetails stellen sicher, dass die angenommenen Randbedingungen erfüllt sind.

6.2.2 Berechnungsverfahren

6.2.2.1 Allgemeines

(1) Die Berechnung des Tankmantels sollte entsprechend den Anforderungen von EN 1993-1-6 durchgeführt werden.

(2) Es darf stets eine höhere Klasse der Berechnung als die für die ausgewählte Tankgruppe festgelegte verwendet werden.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

(3) Für alle Tankgruppen sollte eine computergestützte Berechnung für die Probleme durchgeführt werden, die mit analytischen Gleichungen nicht zuverlässig gelöst werden können.

ANMERKUNG Computergestützte Berechnungen sind besonders bei der Behandlung der vielen Lastkombinationen, die nach EN 1990:2023, Abschnitt A.4, erforderlich sind, hilfreich.

(4) Wenn die Bestimmungen von 6.2.2.3 und 6.2.2.4 eine computergestützte Berechnung fordern, sollte diese stets durchgeführt werden.

6.2.2.2 Tankgruppe 1

(1) Für Tankbauwerke der Tankgruppe 1 darf die Membrantheorie zur Bestimmung der Primärspannungen angewendet werden.

ANMERKUNG Die Sekundärspannungen infolge lokaler Biegung werden vernachlässigt, da der geringe Grad der Plastizierung, der auftritt, nicht reversibel ist und eine dauerhafte Änderung der Form bewirkt.

6.2.2.3 Tankgruppe 2

(1) Für Tankbauwerke der Tankgruppe 2 mit Rotationssymmetrie von Einwirkungen und Lagerung sollte eine von zwei alternativen Berechnungen verwendet werden:

a) die Membrantheorie darf zur Bestimmung der Primärspannungen verwendet werden, zusammen mit Faktoren und vereinfachten Gleichungen zur Beschreibung lokaler Biegeeffekte und unsymmetrischer Einwirkungen;

b) eine validierte computergestützte Berechnung darf angewendet werden, wie in EN 1993-1-6 festgelegt, mit der Berücksichtigung der in 6.2.2.4(5) festgelegten Punkte.

(2) Wenn die Belastungsbedingung nicht rotationssymmetrisch ist, sollte, außer bei den unter (3) und (4) im Folgenden dargestellten Bedingungen, eine computergestützte Berechnung durchgeführt werden.

(3) Wenn die Laständerung um die Schale glatt verläuft und nur globale Biegung erzeugt (d. h. in Form der 1. Harmonischen in Umfangsrichtung), darf trotz (2) die Membrantheorie zur Bestimmung der drei Primärmembranspannungsresultanten n_x, n_θ und $n_{x\theta}$ verwendet werden.

(4) Für die Berechnung der Einwirkungen infolge Windlasten und/oder Fundamentsetzungen darf die Semimembrantheorie oder die Membrantheorie verwendet werden. Der Windwiderstand darf als erfüllt angesehen werden, wenn die spezifischen Bestimmungen in Abschnitt 7 für seine Bewertung ohne eine detaillierte Spannungsanalyse der Beanspruchungen innerhalb des Tragwerks eingehalten werden.

ANMERKUNG Für Informationen hinsichtlich der Membrantheorie und der Semimembrantheorie von Schalen siehe EN 1993-1-6. Die Semimembrantheorie beschreibt das Verhalten einer zylindrischen Schale, bei dem Biegewirkungen in Umfangsrichtung mit vertikalen Membranspannungen unter unsymmetrischen Lasten gekoppelt sind.

(5) Wenn die Membrantheorie zur Schalenberechnung verwendet wird, dürfen mit einer isotropen zylindrischen Schale verbundene einzelne Ringsteifen unter Innendruck, außer wenn der Ring an einem Schalenübergang liegt oder bei einer Änderung der Blechdicke, mit einer wirksamen Fläche angenommen werden, die oberhalb und unterhalb des Ringes eine Schalenlänge von $0{,}78\sqrt{r_T t}$ einschließt. Wenn sich der Ring an der Oberkante der Schalenwand befindet, so dass der Ring nur mit einem Schalensegment auf einer Seite verbunden ist, sollte die beitragende Länge der Schale auf $0{,}39\sqrt{r_T t}$ verringert werden. Eine genauere Behandlung, einschließlich der Wirkungen eines zusätzlichen beitragenden Segments oder Dickenänderungen in der Schale, darf unter Zuhilfenahme der Bestimmungen von prEN 1993-4-1:2024, Abschnitt 10, für Übergänge erstellt werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

ANMERKUNG Wenn ein Ring eine bedeutende Steifigkeit gegenüber einem einheitlich aufgebrachten Drehmoment um den Umfang besitzt, kann dies zu einem geringfügigen Anstieg der oben genannten wirksamen Längen führen.

(6) Wenn die Schale diskret durch vertikale Steifen ausgesteift wird, dann siehe EN 1993-4-1.

(7) Wenn ein Ringträger über diskreten Auflagern verwendet wird, sollte die Kompatibilität der axialen Verformungen von Ring und anschließenden Schalensegmenten berücksichtigt werden. Wenn ein solcher Ringträger verwendet wird, sollte die Exzentrizität von Schwerpunkt und Schubmittelpunkt des Ringträgers bezogen auf die Schalenwand und die Mittellinie des Auflagers einbezogen sein (siehe EN 1993-4-1). Die in EN 1993-4-1 festgelegten geometrischen Grenzen sollten angewendet werden.

(8) Wenn ein Ringträger verwendet wird, um die Kräfte auf diskrete Auflager zu verteilen, und Schrauben oder einzelne Verbindungen verwendet werden, um die Tragwerksteile zu verbinden, sollte die Querkraftübertragung zwischen den Ringteilen infolge Schalen- und Ringträgerbiegung mithilfe einer geeigneten Berechnung (siehe EN 1993-1-6) bestimmt werden.

6.2.2.4 Tankgruppe 3

(1) Bei Tankbauwerken der Tankgruppe 3 mit besonderen oder komplexen Details sollten die Schnittgrößen mithilfe einer validierten computergestützten Berechnung nach EN 1993-1-6 bestimmt werden.

(2) Besondere oder komplexe Details, wie in (1) genannt, sollten identifiziert werden als:

i) nicht verankerte Tanks, bei denen ein Abheben unter Bemessungsbedingungen möglich ist (siehe auch 12.1);

ii) Tanks mit Durchbrüchen, deren Maße den kleineren Wert von $0{,}1H_S$, $0{,}05d$ oder 500 mm überschreiten;

iii) neben dem Abschluss einer einzelnen Rippe (siehe 3.1.30), die ein anderes Tragwerk stützt;

iv) Anbauten oder weitere Tragwerke;

v) in 11.3 als groß eingestufte Durchbrüche, die weder kreisförmig sind, noch über Rippenaussteifungen verfügen;

vi) dicht beieinanderliegende Durchbrüche und deren Umgebungen;

vii) jede sonstige Situation, die in vorherigen Konstruktionen üblicherweise nicht aufgetreten ist.

ANMERKUNG 1 Anbauten an andere Tragwerke können sein:

a) Arbeitsbühnen und Treppen;

b) Stutzen, Mischer und Messgeräte;

c) steife Strukturen und Rohrleitungen zur Verbindung eines Tanks mit anderen Tragwerken;

d) innere Tankstrukturen wie Verteiler oder Leitvorrichtungen oder eine Heizspule;

e) Strukturen, die ungewöhnliche Lasten auf den Tank aufbringen können, besonders wenn sie quer zur Wand oder zum Dach verlaufen.

ANMERKUNG 2 Eine computergestützte Berechnung ist nicht erforderlich, wenn der Durchbruch entsprechend den Bestimmungen von Abschnitt 11 behandelt wird.

(3) Für die Merkmale von Tankbauwerken der Tankgruppe 3, die keine komplexen Details aufweisen (siehe (2)), dürfen die Anforderungen auf diejenigen beschränkt werden, die für Tankgruppe 2 gelten (siehe 6.2.2.3).

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

(4) Der plastische Grenzzustand (LS1) darf durch die plastische Grenzlast unter Primärspannungen nach EN 1993-1-6 beurteilt werden.

(5) Das Ergebnis der validierten computergestützten Berechnung, wie in EN 1993-1-6 definiert, sollte stets mit den analytischen Gleichungen verglichen werden, soweit dies möglich ist. Die folgenden Betrachtungen sollten berücksichtigt werden:

— eine computergestützte Berechnung sollte für die Probleme durchgeführt werden, die mit analytischen Gleichungen nicht zuverlässig gelöst werden können (gilt für alle Tankgruppen);

— in Fällen, in denen zuverlässige analytische Gleichungen verwendet werden können (z. B. für die Hauptbauteile des Tragwerks, wie die zylindrische Wand unter innerem Druck), sollten die Ergebnisse der computergestützten Berechnung nicht erheblich von denen der analytischen Gleichungen abweichen;

— die computergestützten Modellierungsregeln von EN 1993-1-14 sollten angewendet werden, um die Modellierung und die computergestützte Vorgehensweise zu verifizieren.

ANMERKUNG Diese Betrachtungen gelten auch für Tanks der Tankgruppe 2, bei denen eine computergestützte Berechnung durchgeführt wurde.

6.2.3 Geometrische Imperfektionen und Toleranzen

(1) Die geometrischen Imperfektionen der Schale sollten in Bemessungssituationen, in denen der Widerstand von den angenommenen Toleranzen abhängig ist, den in EN 1993-1-6 festgelegten Grenzen genügen.

ANMERKUNG 1 Die Anforderungen, um den geometrischen Toleranzen der Imperfektionen von EN 1993-1-6 zu entsprechen, hängen von dem berechneten Spannungszustand in dem bemessenen Tragwerk ab. Wenn Beulen nicht vorrangige betrachtet wird, dann gibt es keine Anforderung, um diese zusätzlichen Toleranzen zu erfüllen.

ANMERKUNG 2 Die Anforderungen an die Toleranzen für betriebliche Zwecke können EN 14015 oder EN 14620-2, soweit zutreffend, entnommen werden.

(2) Jeder Tank sollte so definiert werden, als würde er einer Herstelltoleranz-Qualitätsklasse A, B oder C nach EN 1993-1-6 und EN 1090-2 angehören.

(3) Für Tanks der Tankgruppe 2 oder 3 sollten die geometrischen Imperfektionen nach der Wasserdruckprüfung gemessen werden, um sicherzustellen, dass die bei der Bemessung angenommene Herstellungstoleranz eingehalten worden ist.

(4) Werksgefertigte geschraubte Tanks, bei denen die Wasserdruckprüfung auf der Baustelle vor dem endgültigen Anziehen aller Schraubenverbindungen durchgeführt wurde, besitzen sehr kleine vernachlässigbare Imperfektionen und es darf ohne Prüfung vor Ort davon ausgegangen werden, dass sie die lokalen Beulenanforderungen der Herstelltoleranz-Qualitätsklasse A nach EN 1993-1-6 erfüllen.

(5) Die geometrischen Imperfektionen der Schale dürfen bei der Bestimmung der Schnittgrößen vernachlässigt werden, sofern keine GNIA- oder GMNIA-Berechnung nach EN 1993-1-6 verwendet wird.

6.3 Tanks aus Wellprofilen

(1) Wenn Wellprofile als Teil eines Tanktragwerkes verwendet werden, darf die Berechnung für eine gleichwertige orthotrope Wand durchgeführt werden (siehe EN 1993-4-1).

(2) Die orthotropen Eigenschaften, die sich aus der Betrachtung des Lastverschiebungsverhaltens in den zueinander rechtwinkligen Richtungen des Wellprofils ergeben, dürfen bei der Spannungsermittlung und bei der Beluntersuchung des Tragwerkes verwendet werden. Die Eigenschaften dürfen nach prEN 1993-4-1:2024, 6.4, bestimmt werden.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

7 Bemessung von zylindrischen Schalenwänden

7.1 Grundlage

7.1.1 Allgemeines

(1) Zylindrische Schalenwände sollten so dimensioniert werden, dass die grundlegenden Anforderungen an Konstruktion und Bemessung für die in Abschnitt 4 angegebenen Grenzzustände der Tragfähigkeit erfüllt werden.

(2) Die Sicherheitsbeurteilung der zylindrischen Schale sollte anhand der Bestimmungen von EN 1993-1-6 erfolgen, wobei sie als erfüllt angesehen werden können, wenn die Bemessung der zylindrischen Wand alle Lastfälle und Lastkombinationen nach EN 1990:2023, Abschnitt A.4, umfasst, einschließlich:

— Eigenlast des gesamten Tragwerks;

— Innendruck aufgrund der gelagerten Flüssigkeit;

— positiver oder negativer Dampfdruck über dem Flüssigkeitsspiegel;

— Axial- und Radialkräfte aufgrund der auf die Dächer, die Arbeitsbühnen, die Dämmung usw. wirkenden Nutzlasten;

— Lasten aus der Umgebung wie Wind, Schnee, Eis, Überschwemmungen und Erdbeben;

— Setzungsunterschiede des Fundaments;

— auf die Schale durch Stützen, Arbeitsbühnen und Rohrleitungen (Stutzen) übertragene lokale Lasten.

7.1.2 Bemessung der zylindrischen Schalenwand

(1) Die zylindrische Schalenwand des Tanks sollte hinsichtlich der in (2) bis (9) beschriebenen Erscheinungen für alle in EN 1993-1-6 definierten Grenzzustände überprüft werden.

(2) Die zylindrische Schalenwand sollte den Bestimmungen von EN 1993-1-6 genügen, sofern nicht diese Norm Alternativen vorsieht, von denen angenommen wird, dass sie den Anforderungen jener Norm genügen.

(3) Tanks aller Tankgruppen sollten die Anforderungen für LS1 (plastische Grenze) und LS3 (Beulen) erfüllen.

(4) Für Tanks der Tankgruppe 1 dürfen die Grenzzustände der zyklischen Plastizierung (LS2) und der Ermüdung (LS4) vernachlässigt werden.

(5) Für Tanks der Tankgruppe 2 darf der Ermüdungsnachweis vernachlässigt werden, außer wenn die geplante Nutzungsdauer des Tragwerks mehr als 10 000 Lastwechsel aus Befüllen und Entleeren umfasst (siehe 6.1.3) oder wenn Schwingungsquellen zu signifikanten lokalen Spannungen mit mehr als 10 000 Lastwechseln während der geplanten Nutzungsdauer führen können.

(6) Für Tanks der Tankgruppe 2 darf die zyklische Plastizierung vernachlässigt werden, außer wenn der Tank mehr als 12 vollständigen Befüllungen und Entleerungen je Jahr ausgesetzt ist (siehe 6.1.3).

ANMERKUNG Der Grenzzustand der zyklischen Plastizierung umfasst ein wechselndes Nachgeben in einer Bemessungssituation. Bei Tanks ist das Auftreten dieses Grenzzustandes unwahrscheinlich, außer in Ankerdetails oder ähnlichen Punkten, an denen lokal hohe Spannungen erzeugt werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

(7) Bei Tanks der Tankgruppe 3 sollten die Grenzzustände der zyklischen Plastizierung (LS2) und der Ermüdung (LS4) mit besonderer Beachtung von Verankerungsspannungen und lokalen spannungserhöhenden Parametern bewertet werden.

(8) Wenn schwingende Maschinen (z. B. ein Mischwerk) an den Tank angeschlossen sind, oder wenn sich Stoßwellen in angeschlossene Rohrleitungen ausbreiten können, sollte die potentielle Anzahl der Zyklen der aufgebrachten Spannung bewertet werden.

(9) Für diese Lastwechselbedingungen sollte eine lineare Berechnung (LA, en: linear analysis) nach EN 1993-1-6 durchgeführt werden. Wenn die Anzahl der Lastwechsel mehr als 10 000 betragen kann, sollte die Wahrscheinlichkeit für Ermüdungsversagen entsprechend den Bestimmungen von EN 1993-1-6 (LS4) und EN 1993-1-9 beurteilt werden. Wenn die Anzahl der Lastwechsel weniger als 10 000 beträgt, aber die Belastung hohe alternierende Spannungen enthält, sollte die Wahrscheinlichkeit für zyklische Plastizierung entsprechend den Bestimmungen von EN 1993-1-6 (LS2) beurteilt werden.

7.1.3 Auffangtassen

(1) Die Anforderung an eine Auffangtasse und deren Bauart sollte entsprechend der zu lagernden Flüssigkeit bestimmt werden.

ANMERKUNG 1 Ergänzende Regeln und Anforderungen für spezifische Flüssigkeiten (z. B. wasserverunreinigende Flüssigkeiten, Ausbreitung und Diffusion von Flüssigkeiten und Dämpfen usw.) können im Nationalen Anhang festgelegt sein.

ANMERKUNG 2 Bei der Bemessung der Auffangtasse ist eine Berücksichtigung möglicher Leckagen oder Versagensfälle des mit Flüssigkeit gefüllten Tanks (z. B. Einwirkung von Temperatur- und Wärmegradienten der Flüssigkeit, plötzliche Dampfentwicklung usw.) notwendig.

ANMERKUNG 3 Eine Leckage oder ein Versagensfall des mit Flüssigkeit gefüllten Tanks sollte bei der Bemessung der Auffangtasse als ein außergewöhnlicher Lastfall behandelt werden.

(2) Das Austreten von Flüssigkeit aus einem Tank in eine Auffangtasse mit oder ohne Dach wird als eine außergewöhnliche Bemessungssituation nach EN 1990 betrachtet.

(3) Oben offene Auffangtassen sollten entsprechend den Bestimmungen dieses Dokuments bemessen sein.

(4) Die Wand der Auffangtasse sollte mindestens 1 m von der Außenwand des zylindrischen Tankmantels entfernt sein.

ANMERKUNG Durch diese Bestimmung wird sichergestellt, dass ausreichend Platz für Inspektions- und Wartungsarbeiten vorhanden ist.

(5) Der Ringraum zwischen dem Tank und der Wand der Auffangtasse sollte so bemessen sein, dass sich kein Regenwasser, Kondensat oder Feuerlöschwasser in diesem Raum ansammeln kann.

ANMERKUNG 1 Diese Anforderung verhindert, dass der Tankmantel unter externem Wasserdruck zusammenbricht.

ANMERKUNG 2 Die Anforderung kann erfüllt werden, indem geeignete Ausrüstungen (z. B. Wasserpumpen) in dem Ringraum verwendet werden.

(6) Die Tankfundamente und alle Strukturen, die den Tank stützen, sollten so bemessen sein, dass sie die Lasten und Lastkombinationen aufnehmen, die auf die Wand der Auffangtasse wirken können.

(7) Falls die Auffangtasse ein Dach besitzt, gelten die in diesem Dokument angegebenen Regeln für die Bemessung des Tankdaches auch für die Bemessung des Auffangtassendaches.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

7.2 Widerstand der zylindrischen Schale

7.2.1 Allgemeines

(1) Der Widerstand der zylindrischen Schale sollte mithilfe der Bestimmungen von EN 1993-1-6 bewertet werden. Jedoch darf davon ausgegangen werden, dass die Bestimmungen von 7.3, 7.4 und 7.5 und Abschnitt 11 die Bestimmungen dieser Norm erfüllen, wenn geeignete Regeln vorliegen.

(2) Die Anforderungen von EN 1090-2 für die Ausführung sollten erfüllt sein.

(3) Der Beiwert j_{ef} für die Wirksamkeit der Verbindung von voll durchgeschweißten Stumpfnähten sollte aus EN 1993-1-6 übernommen werden, in der er als $j_{\mathrm{ef}} = 1{,}0$ definiert ist. Die zutreffenden Anforderungen von EN 14015 und EN 14620-2 sollten ebenfalls erfüllt sein, wenn sie strengere Anforderungen an die Wirksamkeit der Verbindungen darstellen als die Eurocodes und EN 1090-2.

(4) Der Beiwert j_{ef} für die Wirksamkeit der Verbindung von Überlappstößen sollte aus EN 1993-1-6 übernommen werden.

(5) Bei verschraubten Tankbauwerken sollten die Verbindungen so bemessen sein, dass die maßgebliche Versagensart das Versagen des Netto-Querschnitts ist. Ist dies nicht möglich, ist Bolzenscherung als maßgebliche Versagensart zulässig (siehe EN 1993-1-8).

(6) Für geschraubte Verbindungen sollte die Wirksamkeit der Verbindung j_{ef} auf dem maßgeblichen Widerstand der Schraubverbindung im Verhältnis zur Streckgrenze des Grundwerkstoffs beruhen. Der maßgebliche Widerstand sollte nach EN 1993-1-8 ermittelt werden. Es sollte darauf geachtet werden, die kritische Versagensart zu ermitteln, und die Beurteilung des Widerstands sollte alle möglichen Ausfallarten berücksichtigen, einschließlich Zugbruch im Netto- oder Brutto-Querschnitt, Bolzenscherung und die Lochleibungsbeanspruchbarkeit von Schrauben (siehe EN 1993-1-8).

(7) Die Bemessung anderer Verbindungsarten sollte nach EN 1993-1-8 erfolgen.

(8) Wenn der Tank aus nichtrostendem Stahl gefertigt ist, sollten die Bestimmungen von EN 1993-1-4 angewendet werden.

7.3 Blechdicke von zylindrischen Schalen in einer abgestuften Wand für den Widerstand gegen Flüssigkeitsdrücke

(1) In jedem Mantelschuss sollte die Membranspannung in Umfangsrichtung infolge Flüssigkeitsdruck und innerem Dampfdruck mithilfe des folgenden Verfahrens nachgewiesen werden. Dieses Verfahren sollte angewendet werden, um sowohl die Bedingung der Betriebslast als auch die Bedingung der Tankprüfung zu berücksichtigen (siehe EN 1991-4).

(2) Es dürfen zwei alternative Verfahren angewendet werden, um den Widerstand der Wand nachzuweisen, entweder wie in (3) bis (5) festgelegt oder durch das direkte Verfahren in (6) bis (11).

(3) Wenn die Blechdicken und Stahlsorten in unterschiedlichen Höhen im Tank bereits ausgewählt worden sind, sollten sie mithilfe der Bestimmungen in (4) und (5) nachgewiesen werden.

(4) Der auf die Wand wirkende Druck in jeder Höhe des Tanks, unter Berücksichtigung der Tiefe z unter dem Flüssigkeitsspiegel, des Bemessungswerts des spezifischen Gewichts der Flüssigkeit und des Bemessungswerts jedes zusätzlichen Überdrucks durch Dampf im Raum über dem Flüssigkeitsspiegel, sollte als $p_{\mathrm{n,Ed}}$ ermittelt werden.

$$p_{\mathrm{n,Ed}} = \gamma_{\mathrm{FL}}\gamma_{\mathrm{U}}x_{\mathrm{L}} + \gamma_{\mathrm{FV}}p_{\mathrm{V}} \tag{7.1}$$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

Dabei ist

x_L der Abstand unterhalb des Flüssigkeitsspiegels, definiert bei h_L;

γ_{FL} der Teilsicherheitsbeiwert für den Flüssigkeitsdruck (siehe EN 1990:2023, Anhang A);

γ_{FV} der Teilsicherheitsbeiwert für innere Gasdrücke (siehe EN 1990:2023, Anhang A);

γ_U der oberer charakteristischer Wert des Raumgewichts (spezifischen Gewichts) der gelagerten Flüssigkeit;

p_V der charakteristische Wert des Dampfdruckes über dem Flüssigkeitsspiegel.

(5) Der Widerstand der Wand am Fuß jedes Schusses gegen diesen Innendruck sollte wie folgt nachgewiesen werden:

$$\sigma_{m\theta} = \frac{p_{n,Ed} r_T}{t_i} \leq j_{ef} \left(\frac{f_{yi}}{\gamma_{M0}} \right) \tag{7.2}$$

Dabei ist

γ_{m0} der Teilsicherheitsbeiwert für plastisches Versagen (siehe Tabelle 4.4);

$p_{n,Ed}$ der lokale Bemessungswert des auf die Wand wirkenden Innendrucks;

r_T der Radius der Wandmittelfläche;

t_i die lokale Dicke der Wand im *i*-ten Schuss;

F_{yi} die Fließspannung der Wand im *i*-ten Schuss;

J_{ef} der Beiwert für die Wirksamkeit der Verbindung (siehe 7.2.1).

(6) Alternativ darf das folgende vollständig definierte Verfahren angewendet werden, um die Höhe zu ermitteln, über die jede geplante Blechdicke t_i verwendet werden darf, um dem Flüssigkeits- und Dampfdruck standzuhalten.

ANMERKUNG 1 Das folgende Verfahren setzt voraus, dass die Wand aus vordefinierten Blechdicken t_i (im gewalzten Zustand), gegebenenfalls mit vordefinierten Blechbreiten (vordefinierten Höhen der Blechreihen) konstruiert wurde. Vorteil dieses Verfahrens ist, das die resultierenden Tiefen h_i bis zum Fuß jedes Schusses eindeutig abgeleitet werden, was einen nahtlosen Anschluss an das folgende Verfahren ermöglicht, das den Beulwiderstand unter äußerem Druck und Wind bewertet.

ANMERKUNG 2 Das folgende direkte Bemessungsverfahren ersetzt das vorherige Verfahren mit der 30-cm-Regel, das in anderen Normen angewendet wird, und das technisch nicht korrekt war.

(7) Der Bemessungswert des Raumgewichts (des spezifischen Gewichts) der Flüssigkeit sollte wie folgt ermittelt werden:

$$\gamma_d = \gamma_{FL} \rho g = \gamma_{FL} \gamma_U \tag{7.3}$$

Dabei ist

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

γ_d der Bemessungswert des Raumgewichts der Flüssigkeit;

γ_{FLl} der Teilsicherheitsbeiwert für den Flüssigkeitsdruck (siehe EN 1990:2023, Abschnitt A.4);

ρ der obere charakteristische Wert der Dichte der gelagerten Flüssigkeit;

g die Erdbeschleunigung;

γ_U der obere charakteristische Wert des Raumgewichts (des spezifischen Gewichts) der gelagerten Flüssigkeit.

(8) Die relative Auswirkung des Dampfdrucks über dem Flüssigkeitsspiegel h_V sollte wie folgt ermittelt werden:

$$h_V = \frac{p_{V,Ed}}{\gamma_d} \tag{7.4}$$

Dabei ist

$p_{V,Ed}$ der Bemessungswert des Dampfdruckes über dem Flüssigkeitsspiegel (d. h. der charakteristische Wert des Druckes multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{FV} für Dampfdruck nach EN 1990:2023, Abschnitt A.4);

h_V die Höhe der Wand, die erforderlich ist, um dem inneren Dampfdruck standzuhalten.

(9) Die Steigerungsrate der erreichbaren Tiefe mit der Wanddicke k_{yi} ergibt sich wie folgt:

$$k_{yi} = j_{ef}\left(\frac{f_{yi}/\gamma_{M0}}{\gamma_d r_T}\right) \tag{7.5}$$

Dabei ist

γ_d der Bemessungswert des Raumgewichts der Flüssigkeit (Gleichung (7.3));

γ_{M0} der Teilsicherheitsbeiwert für plastisches Versagen (siehe Tabelle 4.4);

f_{yi} die Fließspannung der Wand im i-ten Schuss;

j_{ef} der Beiwert für die Wirksamkeit der Verbindung, wie in (5) definiert.

ANMERKUNG Gleichung (7.5) umfasst Größen, die häufig in uneinheitlichen Einheiten angegeben sind (z. B. N/mm^2, kN/m^3 und m). Es ist sicherzustellen, dass der Wert von k_y in Gleichung (7.6) ohne Einheiten angegeben wird, um eine Höhe zu erhalten (siehe 3.4(2)).

(10) Für eine gewählte Wanddicke t_i mit Fließspannung f_y ergibt sich die Tiefe $h_{i,0}$, bis zu der diese Dicke unterhalb des Windträgers, des Randwinkels oder der Oberkante der zylindrischen Wand, wo sie an einem Dach befestigt ist, verwendet werden kann, wie folgt:

$$h_{i,max} = k_{yi}t_i + 1{,}4\sqrt{r_T t_i} - h_V - h_F + (h_S - h_L) \tag{7.6}$$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

Dabei ist

r_T der Radius der Tankwandmittelfläche;

t_i die Dicke des *i*-ten Schusses;

h_L die maximale Füllhöhe der Flüssigkeit (MNOL oder MDLL, abhängig davon, ob eine normale oder eine außergewöhnliche Lastbedingung betrachtet wird) (Bild 3.1);

h_{MDLL} die maximale Auslegungsfüllhöhe über dem Boden (MDLL) (Bild 3.1);

h_{MNOL} der maximale Normalspiegel in Betrieb über dem Boden (MNOL) (Bild 3.1);

h_S die Höhe der zylindrischen Schale vom Fuß bis zur Oberkante der zylindrischen Wand, des Randwinkels oder des primären Windträgers, je nachdem, welcher Wert der kleinere ist (Bild 3.1);

h_F die Höhe des Freiraums über der maximalen Füllhöhe (Bild 3.1);

h_V die zusätzliche Höhe der Wand, die erforderlich ist, um den inneren Dampfdruck aufzunehmen (Gleichung (7.4));

$h_{i,max}$ der senkrechte Abstand vom Windträger, Randwinkel oder der Oberkante der zylindrischen Wand (soweit zutreffend) bis zum tiefsten Punkt, an dem diese Dicke t_i verwendet werden darf;

i die Nummer des Schusses, gemessen vom Füllstand bei der maximalen Auslegungsfüllhöhe abwärts;

f_{yi} der Bemessungswert der Streckgrenze des Stahls für dieses Blech der Dicke t_i.

ANMERKUNG 1 Die in Gleichung (7.6) angegebene Bezugshöhe $h_{i,max}$ wird so gewählt, dass die Definitionen der Höhe innerhalb der Schalenwand für die Bestimmung des Widerstands gegen Beulen unter Windeinwirkung geeignet sind, wobei eine einheitliche Notation verwendet wird.

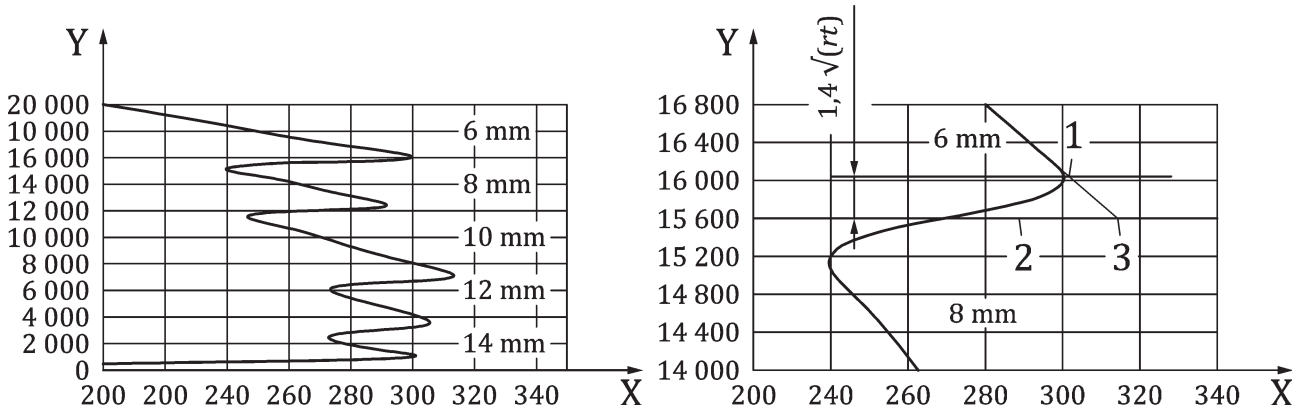
ANMERKUNG 2 Das folgende Verfahren ist dafür ausgelegt, um deutlich zwischen der möglichen Höhe eines Schusses $h_{i,max}$ und der folglich gewählten Höhe h_i, die bei der Bestimmung des Widerstands gegen Wind und äußeren Druck zu verwenden ist, zu unterscheiden.

(11) Mithilfe der gewählten Blechhöhe des gewalzten Bleches kann die ganzzahlige Anzahl von Blechreihen ermittelt werden, die platziert werden können, bis die Höhe $h_{i,max}$ erreicht ist. Die erste Dicke t_1, die $h_{1,max}$ ergibt, kann dann zur Definition der tatsächlichen Höhe des ersten Schusses h_1 verwendet werden. Die nächste Blechdicke t_2 kann dann in Gleichung (7.6) eingesetzt werden, um den tiefsten Punkt $h_{2,max}$ unterhalb des Flüssigkeitsspiegels zu finden, an dem sie genutzt werden kann. Dieser Prozess darf so lange wiederholt werden, bis die komplette Wand definiert und die Schusshöhen h_1 bis h_n gewählt wurden. Wenn sich aus Gleichung (7.6) eine Tiefe ergibt, die größer ist als die Höhe der Wand H_S, sind keine weiteren Änderungen der Wanddicke erforderlich.

ANMERKUNG Die zusätzliche Höhe $1{,}4\sqrt{r_T t_i}$ basiert auf der Einspannwirkung des dickeren Bleches unter dem behandelten Schuss, was es ermöglicht, den Punkt der Blechdickenänderung niedriger anzusetzen (siehe Bild 7.1). Dieser war herkömmlich mit 300 mm definiert, was ein Näherungswert ist, der gewöhnlich sicher, aber nicht mehr erforderlich ist.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02



Legende

X Membranspannung in Umfangsrichtung (MPa)
Y axiale Koordinate (mm)
1 Spitzenringspannung
2 Verbindungslinie
3 Spannung ohne Einfluss auf die Dickenänderung

Bild 7.1 — Veränderung der Membranspannung in Umfangsrichtung bei einer Wanddickenänderung in einem zylindrischen Behälter mit abgestufter Wand unter Flüssigkeitsdruck

7.4 Bemessung hinsichtlich des Widerstandes gegen äußeren Druck und Winddruck

7.4.1 Allgemeines

(1) Der Beulwiderstand eines Tanks mit abgestufter Wand sollte mithilfe der Bestimmungen von EN 1993-1-6 beurteilt werden, aber die folgende vereinfachte Version darf für Tanks der Tankgruppe 1 und der Tankgruppe 2 verwendet werden.

(2) Die in 7.4.2, 7.4.3 und 7.4.4 festgelegten Verfahren dürfen angewendet werden, unter der Voraussetzung, dass die Oberkante der Schale durch das Dach oder durch eine Hauptringsteife (siehe EN 1993-1-6) ausreichend gegen unrunde Verschiebungen gesichert ist.

ANMERKUNG Die Oberkante der Schale bezieht sich hier auf den Windträger, den Randwinkel oder die Verbindung von Dach und Zylinder, soweit zutreffend.

(3) Wenn der Tank ein festes Dach besitzt, das entweder ein freitragendes Dach oder ein auf einer Unterstützungskonstruktion lagerndes Dach sein kann (siehe 8.2(3)), und das Dach oder seine Unterstützungskonstruktion strukturell mit der Tankwand verbunden ist, darf davon ausgegangen werden, dass das Dach die Wand ausreichend festhält, um den oberen Teil einer Schalenwand unter äußerem Druck zu verankern. Wenn der effektive Querschnitt des natürlichen Rings, der sich aus den verbundenen Teilen zusammensetzt, die Anforderungen von 7.4.2 erfüllt, kann eine Hauptringsteife weggelassen werden.

(4) Ein oben offener Tank sollten mit einer Hauptringsteife versehen sein, die an oder nahe dem oberen Ende des obersten Schusses angebracht ist, der die nachstehenden Anforderungen erfüllt.

(5) Falls der untere Rand der Schale wirksam gegen Abheben verankert ist, um vertikalen Verschiebungen während des Beulens standzuhalten, darf die Hauptringsteife so bemessen werden, dass die in EN 1993-1-6 angegebenen Anforderungen sowohl an die Festigkeit als auch an die Steifigkeit erfüllt werden.

(6) Wenn die Schale eine gleichbleibende Dicke aufweist, sollte der Beulnachweis mithilfe der Bestimmungen von EN 1993-1-6 durchgeführt werden. Falls die Unterkante der Schale nicht wirksam verankert ist, um vertikalen Verschiebungen während des Beulens standzuhalten, sollte die Randbedingung für axial frei während des Beulens verwendet werden.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02

(7) Wenn die Schale verschiedene Dicken über ihre Höhe aufweist (abgestufte Wand) und die Unterkante der Schale nicht wirksam verankert ist, um vertikalen Verschiebungen während des Beulens standzuhalten, darf der Beulnachweis mithilfe der computergestützten Berechnung von EN 1993-1-6 erbracht werden. Alternativ dürfen die Bestimmungen von 7.4.3 angewendet werden.

ANMERKUNG Die in (5) und (6) vorgenommene Unterscheidung bezieht sich auf einen Unterschied in der Beulfestigkeit unter äußerem Druck, je nachdem, ob vertikale Hebungsbewegungen während des Beulens auftreten können oder nicht. Eine axiale Einspannung am Fuß einer möglichen Beule erhöht die Beulfestigkeit. Allerdings wird jede Beule, die sich nicht bis zum Boden des Tanks erstreckt, durch die dickeren Mantelschüsse unter dem Boden der Beule [3] und [4] angemessen axial zurückgehalten, so dass die Anforderung in (6) nur begrenzt anwendbar ist.

7.4.2 Hauptringsteife als obere Begrenzung bei Beulen unter äußerem Druck und Windbelastung

(1) Die Hauptringsteife, die sich an dem oberen Ende der zylindrischen Schale befindet, sollte mit einer ausreichenden Steifigkeit bemessen sein, um sichere Berechnungen hinsichtlich Beulen der Schalenwand unter äußerem Druck sicherzustellen.

(2) Die Hauptringsteife sollten auch mit einer ausreichenden Biegefestigkeit in Bezug auf die Biegemomente, die durch unsymmetrische äußere Drücke unter Windbelastung hervorgerufen werden, bemessen sein.

(3) Die Biegemomente in Umfangsrichtung, die sich in der Hauptringsteife entwickeln, dürfen mithilfe computergestützter linearer Berechnungen (LA) nach EN 1993-1-6 bewertet werden. Wenn dies nicht erfolgt, sollte das Verfahren zur manuellen Berechnung von prEN 1993-1-6:2023, Anhang D, befolgt werden.

(4) Die Biegefestigkeit in Umfangsrichtung einer Hauptringsteife darf mithilfe der in EN 1993-1-1 festgelegten Verfahren bewertet werden.

(5) Für die Steifigkeit, die von einer Hauptringsteife gefordert wird, um sicherzustellen, dass die Beulfestigkeit der Schalenwand erreichbar ist, siehe prEN 1993-1-6:2023, Anhang D.

7.4.3 Bemessung einer abgestuften Schalenwand bei Beulen unter äußerem Druck und Windbelastung

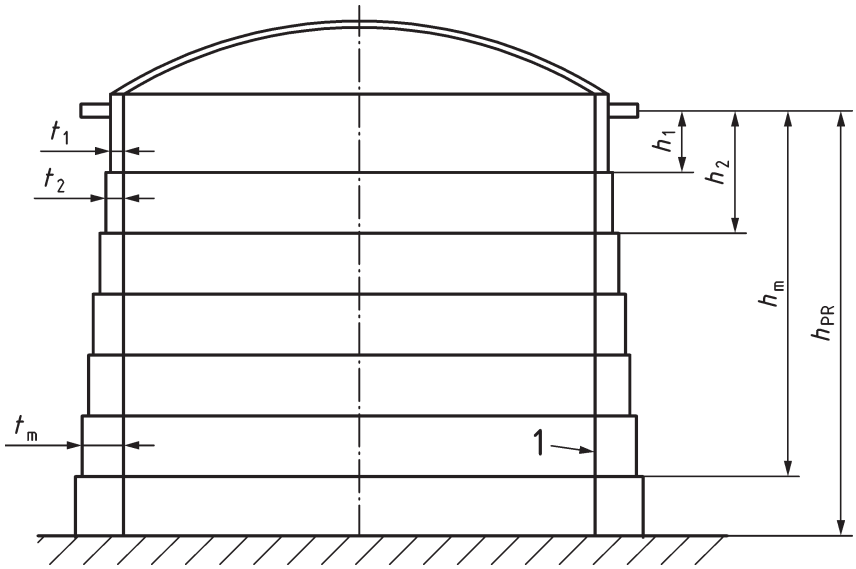
(1) Wenn die Schale verschiedene Dicken über ihre Höhe aufweist (abgestufte Wand), darf der Beulnachweis mithilfe einer computergestützten Verzweigungsanalyse (LBA, en: computational bifurcation analysis) nach EN 1993-1-6 erbracht werden. Alternativ dürfen die Bestimmungen dieses Unterabschnitts angewendet werden.

ANMERKUNG Wenn der aus einer LBA-Analyse hergeleitete Wert von R_{cr} größer ist als 2,0, ist eine umfassendere Analyse in der Regel nicht notwendig.

(2) Da sich das Beulen unter äußerem Druck mit steigender Höhe der möglichen Beule verringert, haben größere mögliche Beulen einen geringeren Widerstand und sind kritischer. Wenn aber dickere untere Schüsse für die mögliche Beule eine Rolle spielen, führen sie zu höheren Widerständen. Demnach sollte die kritischste Höhe der Beule durch Untersuchung von unterschiedlichen möglichen Beulhöhen ermittelt werden.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02



Legende
1 *m*-ter Schuss

Bild 7.2 — Notation für eine abgestufte Wand eines zylindrischen Tanks

(3) Es sollte davon ausgegangen werden, dass jede mögliche Beule am oberen Ende durch die Hauptringsteife verankert ist, und die Grundfläche der Beule sollte an einem Übergang der Wandplattendicke angesetzt werden. Die Höhe jeder möglichen Beule wird mit der Notation h_{bm} bezeichnet, wobei *m* angibt, dass sich die Grundfläche der Beule am unteren Ende des *m*-ten Schusses befindet (Bild 7.2).

(4) Unterschiedliche Höhen der möglichen Beulen h_{bm} sollten untersucht werden, bis festgestellt wurde, ob die stabile Höhe der Schale H_b (Gleichung (7.15)) geringer ist als die Höhe h_{bm}. Dann sollten die Bestimmungen von 7.4.4 angewendet werden, um eine oder mehrere Zwischenringsteifen anzupassen.

(5) Für jeden Schuss innerhalb der Beule ergibt sich der Wert der umgeformten Schusshöhe h_{Ti} wie folgt:

$$h_{Ti} = \left(h_i - \frac{h_{bm}}{2\pi}\sin\frac{2\pi h_i}{h_{bm}}\right) \tag{7.7}$$

(6) Die äquivalente Dicke $t_{eq,m}$ der Schale über die physische Höhe h_{bm} jeder möglichen Beule im oberen unausgesteiften Teil der zylindrischen Schale sollte wie folgt bestimmt werden:

$$t_{eq,m} = \left\{\left(\frac{1}{h_{bm}}\right)\sum_{i=1}^{m}\left[t_i^3\left(h_{Ti} - h_{T(i-1)}\right)\right]\right\}^{0,333} \tag{7.8}$$

mit $h_{T0} = 0$, wenn $i = 1$.

Dabei ist

h_i die Höhe vom Randwinkel oder vom Hauptwindträger zur Grundfläche des *i*-ten Schusses (Bild 7.2);

t_i die Dicke eines jeden Schusses in Folge;

h_{Ti} die umgeformte Höhe des *i*-ten Schusses;

m die Anzahl der in der möglichen Beule betrachteten Schüsse.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 1993-4-2:2024-02