

DIN EN 1993-4-2

DIN

ICS 23.020.10; 91.010.30; 91.080.13

Ersatz für
DIN EN 1993-4-2:2010-12

**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 4-2: Tankbauwerke;
Deutsche Fassung EN 1993-4-2:2007 + AC:2009 + A1:2017**

Eurocode 3: Design of steel structures –
Part 4-2: Tanks;
German version EN 1993-4-2:2007 + AC:2009 + A1:2017

Eurocode 3: Calcul des structures en acier –
Partie 4-2: Réservoirs;
Version allemande EN 1993-4-2:2007 + AC:2009 + A1:2017

Gesamtumfang 59 Seiten

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



Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-4-2:2007 + AC:2009 + A1:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

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

Dieses Dokument enthält eine von CEN am 2009-07-29 angenommene Berichtigung sowie die Änderung 1, die von CEN am 2017-03-03 angenommen wurde.

Anfang und Ende der durch die Änderung und Berichtigung eingefügten oder geänderten Texte sind jeweils durch die Änderungsmarken **A1** bzw. **AC** angegeben.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 8930 siehe DIN ISO 8930

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1993-4-2:2010-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Das Vorwort wurde ergänzt;
- b) der Anwendungsbereich wurde überarbeitet;
- c) die Begriffe wurden überarbeitet;
- d) 1.7 wurde überarbeitet, 1.7.2 wurde gestrichen;
- e) die ersten vier Absätze in 2.2 wurden ersetzt sowie durch zwei neue Tabellen ergänzt;
- f) 2.10 wurde gestrichen;
- g) Absätze 1 und 2 sowie Tabelle 3.1 in 3.5.2 wurden ersetzt;
- h) 4.1.3 wurde überarbeitet;
- i) 4.3 wurde gestrichen;
- j) Ergänzung der Gleichung (5.2);
- k) Änderung von Absatz 3 in 5.4.7;
- l) die Abschnitte 6, 8, 9 und 10 wurden gestrichen und die Nummerierung und Verweisung innerhalb des Dokumentes entsprechend angepasst;
- m) Abschnitt 7 als Abschnitt 6 sowie Abschnitt 11 als Abschnitt 7 neu nummeriert und dementsprechend auch alle zugehörigen Unterabschnitte, Tabellen, Bilder und Gleichungen;
- n) die Absätze (15) und (16) wurden in 7.3.2 hinzugefügt;
- o) redaktionelle Überarbeitung und Anpassung an die geltenden Gestaltungsregeln.

Frühere Ausgaben

DIN 4119-1: 1961x-10, 1979-06
DIN 4119-2: 1961x-10, 1980-02
DIN V ENV 1993-4-2: 2002-05
DIN EN 1993-4-2: 2007-08, 2010-12
DIN EN 1993-4-2 Berichtigung 1: 2010-05

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 8930, *Allgemeine Grundsätze für die Zuverlässigkeit von Tragwerken — Verzeichnis der gleichbedeutenden Begriffe*

Nur zum internen Gebrauch

— Leerseite —

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 1993-4-2

Februar 2007

+ AC

Juli 2009

+ A1

Juni 2017

ICS 23.020.01; 23.020.10; 91.010.30; 91.080.13

Ersatz für ENV 1993-4-2:1999

Deutsche Fassung

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4-2: Tankbauwerke

Eurocode 3: Design of steel structures —
Part 4-2: Tanks

Eurocode 3: Calcul des structures en acier —
Partie 4-2: Réservoirs

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

Die Berichtigung tritt am 22. Juli 2009 in Kraft und wurde in EN 1993-4-2:2007 eingearbeitet.

Die Änderung A1 modifiziert die Europäische Norm EN 1993-4-2:2007. Sie wurde vom CEN am 3. März 2017 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2017 CEN Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den nationalen Mitgliedern von CEN vorbehalten. Ref. Nr. EN 1993-4-2:2007 + AC:2009 + A1:2017 D

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Europäisches Vorwort der Änderung A1	8
1 Allgemeines	9
1.1 Anwendungsbereich.....	9
1.2 Normative Verweisungen.....	10
1.3 Annahmen	11
1.4 Unterscheidung zwischen verbindlichen Regeln und nicht verbindlichen Regeln.....	12
1.5 Begriffe	12
1.6 In Teil 4-2 von Eurocode 3 verwendete Symbole	14
1.7 Vorzeichenvereinbarungen.....	16
1.8 Einheiten.....	20
2 Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung	20
2.1 Anforderungen	20
2.2 Differenzierung der Zuverlässigkeit	21
2.3 Grenzzustände	23
2.4 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse	23
2.5 Werkstoffeigenschaften	23
2.6 Geometrische Größen	23
2.7 Modellierung des Tankbauwerks zur Bestimmung der Effekte der Einwirkungen	23
2.8 Versuchsgestützte Bemessung	24
2.9 Effekte der Einwirkungen für Nachweise der Grenzzustände	24
2.10 Dauerhaftigkeit	25
3 Werkstoffeigenschaften	26
3.1 Allgemeines	26
3.2 Baustähle	26
3.3 Druckbehälterstähle	26
3.4 Nichtrostende Stähle	26
3.5 Zähigkeitsanforderungen.....	27
4 Grundlagen der Tragwerksberechnung.....	27
4.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	27
4.2 Tragwerksberechnung eines kreisförmigen Tanks.....	29
4.3 Gleichwertige orthotrope Eigenschaften von Wellprofilen.....	30
5 Bemessung von zylindrischen Wänden.....	31
5.1 Grundlagen.....	31
5.2 Unterscheidung zylindrischer Schalenformen	31
5.3 $[A_1]$ Widerstand der Tragwerksabschnitte des Tanks $[A_1]$	31
5.4 Betrachtungen für Unterstützungen und Öffnungen.....	32
5.5 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit.....	36
6 Bemessung kreisförmiger Dachtragwerke	36
6.1 Grundlagen.....	36
6.2 Unterscheidung von Dachtragwerksformen	36
6.3 Widerstand von kreisförmigen Dächern	37
6.4 Betrachtungen für individuelle Tragwerksformen	37
6.5 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit.....	38
7 Vereinfachte Bemessung	38

7.1	Allgemeines	38
7.2	Bemessung des Festdaches.....	40
7.3	Bemessung des Mantels	45
7.4	Bemessung des Bodens	50
7.5	Bemessung der Verankerung.....	51
Anhang A (normativ) Einwirkungen auf Tankbauwerke.....		53
A.1	Allgemeines	53
A.2	Einwirkungen	53

Nur zum internen Gebrauch

Europäisches Vorwort

Diese Europäische Norm (EN 1993-4-2:2007 + AC:2009), **AC** Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4-2: Tankbauwerke **AC** wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis August 2007, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt ENV 1993-4-2:1999.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Hintergrund des Eurocode-Programms

Im Jahre 1975 beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, für das Bauwesen ein Aktionsprogramm auf der Grundlage des Artikels 95 der Römischen Verträge durchzuführen. Die Ziele dieses Programms waren die Beseitigung technischer Handelshemmnisse und die Harmonisierung technischer Spezifikationen.

Im Rahmen dieses Aktionsprogramms leitete die Kommission die Bearbeitung von harmonisierten technischen Regelwerken für die Tragwerksplanung von Bauwerken ein, die im ersten Schritt als Alternative zu den in den Mitgliedsländern geltenden Regeln dienen und diese schließlich ersetzen sollten.

15 Jahre lang leitete die Kommission mit Hilfe eines Lenkungsausschusses mit Vertretern der Mitgliedsländer die Entwicklung des Eurocode-Programms, das in den 80er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts zu der ersten Eurocode-Generation führte.

Im Jahre 1989 entschieden sich die Kommission und die Mitgliedsländer der Europäischen Union und der EFTA, die Entwicklung und Veröffentlichung der Eurocodes über eine Reihe von Mandaten an CEN zu übertragen, damit diese den Status von Europäischen Normen (EN) erhielten. Grundlage war eine Vereinbarung¹⁾ zwischen der Kommission und CEN. Dieser Schritt verknüpft die Eurocodes de facto mit den Regelungen der Richtlinien des Rates und mit den Kommissionsentscheidungen, die die Europäischen Normen behandeln (z. B. die Richtlinie des Rates 89/106/EWG zu Bauprodukten (Bauproduktenrichtlinie), die Richtlinien des Rates 93/37/EWG, 92/50/EWG und 89/440/EWG zur Vergabe öffentlicher Aufträge und Dienstleistungen und die entsprechenden EFTA-Richtlinien, die zur Einrichtung des Binnenmarktes eingeführt wurden).

Das Programm der Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau umfasst die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

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

- EN 1990, *Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung*
EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke*
EN 1992, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*
EN 1993, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*
EN 1994, *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*
EN 1995, *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*
EN 1996, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*
EN 1997, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*
EN 1998, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*
EN 1999, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumbauten*

Die EN-Eurocodes berücksichtigen die Verantwortlichkeit der Bauaufsichtsorgane in den Mitgliedsländern und haben deren Recht zur nationalen Festlegung sicherheitsbezogener Werte berücksichtigt, so dass diese Werte von Land zu Land unterschiedlich bleiben können.

Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes

Die Mitgliedsländer der EU und EFTA betrachten die Eurocodes als Bezugsdokumente für folgende Zwecke:

- als Mittel zum Nachweis der Übereinstimmung der Hoch- und Ingenieurbauten mit den wesentlichen Anforderungen der Richtlinie 89/106/EWG, besonders mit der wesentlichen Anforderung Nr. 1: Mechanische Festigkeit und Standsicherheit und der wesentlichen Anforderung Nr. 2: Brandschutz;
- als Grundlage für die Spezifizierung von Verträgen für die Ausführung von Bauwerken und dazu erforderlichen Ingenieurleistungen;
- als Rahmenbedingung für die Erstellung harmonisierter Technischer Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs).

Die Eurocodes haben, soweit sie sich auf die Bauwerke selbst beziehen, eine direkte Verbindung zu den Grundlagendokumenten²⁾ auf die in Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hingewiesen wird, wenn sie auch anderer Art sind als die harmonisierten Produktnormen³⁾. Daher sind technische Gesichtspunkte, die sich aus den Eurocodes ergeben, von den Technischen Komitees des CEN und/oder den Arbeitsgruppen von EOTA, die an Produktnormen arbeiten, zu beachten, damit diese Technischen Spezifikationen mit den Eurocodes vollständig kompatibel sind.

-
- 2) Nach Artikel 3.3 der Bauproduktenrichtlinie sind die wesentlichen Anforderungen in Grundlagendokumenten zu konkretisieren, um damit die notwendigen Verbindungen zwischen den wesentlichen Anforderungen und den Mandaten für die Erstellung harmonisierter Europäischer Normen und ETAGs/ETAs zu schaffen.
- 3) Nach Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie muss das Grundlagendokument:
- a) die wesentlichen Anforderungen konkretisieren, indem die Begriffe und die technischen Grundlagen harmonisiert und, falls erforderlich, für jede Anforderung Klassen oder Stufen angegeben werden;
 - b) Verfahren zur Verbindung dieser Klassen oder Stufen mit den Technischen Spezifikationen angeben, z. B. Berechnungs- oder Prüfverfahren, Entwurfsregeln usw.;
 - c) als Bezugsdokument für die Erstellung harmonisierter Normen und Richtlinien für Europäische Technische Zulassungen dienen.

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

Die Eurocodes liefern Regelungen für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von kompletten Tragwerken und Bauteilen, die sich für die tägliche Anwendung eignen. Sie gehen auf traditionelle Bauweisen und Aspekte innovativer Anwendungen ein, liefern aber keine vollständigen Regelungen für ungewöhnliche Baulösungen und Entwurfsbedingungen. Für diese Fälle können zusätzliche Spezialkenntnisse für den Bauplaner erforderlich sein.

Nationale Fassungen der Eurocodes

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

Der Nationale Anhang darf nur Angaben zu den Parametern enthalten, die im Eurocode für nationale Entscheidungen offen gelassen wurden; diese national festzulegenden Parameter (en: Nationally Determined Parameters; NDP) gelten für die Tragwerksplanung von Hoch- und Ingenieurbauten in dem Land, in dem sie erstellt werden. Dazu gehören:

- Zahlenwerte und/oder Klassen, wo die Eurocodes Alternativen eröffnen;
- zu verwendende Zahlenwerte, wo die Eurocodes nur Symbole angeben;
- landesspezifische Daten (geographische, klimatische usw.), z. B. Schneekarten;
- die Vorgehensweise, wenn die Eurocodes mehrere Verfahren zur Wahl anbieten.

Darüber hinaus kann er Folgendes enthalten:

- Vorschriften zur Verwendung der informativen Anhänge,
- Hinweise zur Anwendung der Eurocodes, soweit diese die Eurocodes ergänzen und ihnen nicht widersprechen.

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

Es besteht die Notwendigkeit, dass die harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte und die technischen Regelungen für die Tragwerksplanung⁴⁾ konsistent sind. Insbesondere sollten alle Hinweise, die mit der CE-Kennzeichnung von Bauprodukten verbunden sind und die die Eurocodes in Bezug nehmen, klar erkennen lassen, welche national festzulegenden Parameter (NDP) zu Grunde liegen.

Zusätzliche Informationen zu EN 1993-4-2

EN 1993-4-2 enthält Hinweise für die Tragwerksplanung von Tankbauwerken.

EN 1993-4-2 enthält Bemessungs- und Konstruktionsregeln, die die allgemeinen Regeln in den verschiedenen Teilen von EN 1993-1 ergänzen.

EN 1993-4-2 ist für die Anwendung durch Bauherren, Tragwerksplaner, Auftragnehmer und zuständige Behörden vorgesehen.

EN 1993-4-2 ist dazu vorgesehen, zusammen mit EN 1990, EN 1991-4 und den anderen Teilen von EN 1991, mit EN 1993-1-6 und EN 1993-4-1 und den anderen Teilen von EN 1993 sowie mit EN 1992 und den

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

anderen Teilen von EN 1994 bis EN 1999 angewendet zu werden, soweit für die Bemessung und Konstruktion von Tankbauwerken maßgeblich. Die in diesen Dokumenten bereits behandelten Aspekte werden nicht wiederholt.

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

Sicherheitsbeiwerte für Tankbauwerke, die „Bauprodukte“ sind (Werksfertigung), dürfen von den zuständigen Behörden festgelegt werden. Bei Anwendung auf Tankbauwerke, die „Bauprodukte“ sind, sind die in 2.10 angegebenen Beiwerte nur Richtwerte. Ihre Angabe dient der Darstellung des geeigneten Niveaus, das für eine mit anderen Bemessungen verträgliche Zuverlässigkeit benötigt wird.

Nationaler Anhang zu EN 1993-4-2

Diese Norm enthält alternative Verfahren, Werte und Empfehlungen zusammen mit Hinweisen, an welchen Stellen möglicherweise nationale Festlegungen getroffen werden müssen. Daher sollte die jeweilige nationale Ausgabe von EN 1993-4-2 einen Nationalen Anhang mit allen national festzulegenden Parametern enthalten, die für die Bemessung und Konstruktion von Hoch- und Ingenieurbauten, die in dem Ausgabeland gebaut werden sollen, erforderlich sind.

Nationale Festlegungen sind in den folgenden Abschnitten von EN 1993-4-2 vorgesehen:

▣_{A1}

- 2.2 (1)
- 2.2 (3)
- 2.9.2.1 (1)P
- 2.9.2.1 (2)P
- 2.9.2.1 (3)P
- 2.9.2.2 (3) P
- 2.9.3 (2)
- 3.3 (3)
- 4.1.4 (3) ▣_{A1}

Europäisches Vorwort der Änderung A1

Ⓐ Dieses Dokument (EN 1993-4-2:2007/A1:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2018, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2018 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] ist/sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument wurde unter einem Normungsauftrag erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern. Ⓐ

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

A1 (1) Teil 4-2 von Eurocode 3 enthält verbindliche und nicht verbindliche Regeln für die Tragwerksbemessung von vertikalen zylindrischen, konischen und auf einer Unterkonstruktion stehenden, oberirdischen Tankbauwerken aus Stahl zur Lagerung von Flüssigkeiten, mit folgenden Eigenschaften:

- a) Tankbauwerke mit einem Fassungsvermögen größer als 100 m^3 (100 000 l);
- b) Tankbauwerke mit einem wesentlichen Fertigungs- oder Montageanteil vor Ort;
- c) werksgefertigte Tankbauwerke mit konischem Boden, auf Standzargen oder Stützen stehend;
- d) Tankbauwerke mit einem charakteristischen Innendruck über dem Flüssigkeitsspiegel nicht kleiner als $-0,1 \text{ bar}$ und nicht größer als $0,5 \text{ bar}$ ⁵⁾ ist;
- e) Bemessungstemperaturen für den Stahl begrenzt auf die Bereiche:
 - 1) Tankbauwerke aus Baustählen, $-50 \text{ °C} < T < +300 \text{ °C}$;
 - 2) Tankbauwerke aus austenitischen nichtrostenden Stählen, $-165 \text{ °C} < T < +300 \text{ °C}$;
 - 3) Tankbauwerke aus Spezialstahlsorten mit festgelegten Streckgrenzen bei höheren Temperaturen, $-165 \text{ °C} < T < \text{die maximale festgelegte Temperatur für die Stahlsorte}$;
 - 4) Tankbauwerke, die anfällig in Bezug auf Versagen durch Ermüdung sind, $T < 150 \text{ °C}$;
- f) zylindrische, auf dem Boden aufliegende Tankbauwerke, bei denen die maximale Auslegungsfüllhöhe der Flüssigkeit nicht über den oberen Rand der zylindrischen Schale geht. **A1**

(2) Dieser Teil 4-2 behandelt nur die Anforderungen an Widerstand und Stabilität von Tankbauwerken aus Stahl. Sonstige Auslegungsanforderungen werden für Tankbauwerke bei Umgebungstemperatur in EN 14015 und für Tankbauwerke zur Lagerung tiefkalter Flüssigkeiten in EN 14620 sowie Betrachtungen zur Herstellung und Montage in EN 1090 behandelt. Diese sonstigen Anforderungen schließen Fundamente und Bodensetzung, Herstellung, Montage und Prüfung, Funktion und Details wie Mannlöcher, Flansche und Befüllvorrichtungen ein.

(3) Bestimmungen für die speziellen Anforderungen der Bemessung gegen Erdbeben sind in EN 1998-4 (Eurocode 8 Teil 4 „Maßnahmen und Bemessungsregeln zur Ermittlung der Erdbebenbeanspruchbarkeit von Tragwerken: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen“) angegeben, die spezifisch für diesen Zweck die Bestimmungen von Eurocode 3 ergänzt.

(4) Die Bemessung einer Unterstützungsstruktur von Tankbauwerken wird in EN 1993-1-1 behandelt.

(5) Die Bemessung einer Dachkonstruktion aus Aluminium für ein Tankbauwerk aus Stahl wird in EN 1999-1-5 behandelt.

(6) Stahlbetonfundamente für Tankbauwerke aus Stahl werden in EN 1992 und EN 1997 behandelt.

5) Alle Druckangaben bezeichnen Überdrücke in Bar (bar), sofern nichts anderes angegeben ist.

(7) Zahlenwerte der spezifischen Einwirkungen, die bei der Bemessung von Tankbauwerken aus Stahl zu berücksichtigen sind, werden in EN 1991-4, *Einwirkungen auf Silos und Tanks* angegeben. Weitere Bestimmungen für Einwirkungen auf Tankbauwerke werden in Anhang A dieses Teils 4-2 von Eurocode 3 angegeben.

A1 (8) Dieser Teil 4-2 gilt nicht für:

- Tankbauwerke mit rechteckigem Grundriss;
- Tankbauwerke mit einem Fassungsvermögen unter 100 m³;
- Tankbauwerke, die Feuer ausgesetzt sind (siehe EN 1993-1-2);
- Tankbauwerke mit gewölbtem Boden und einem Durchmesser kleiner als 5 m;
- zylindrische Tankbauwerke mit einem Verhältnis von Höhe zu Durchmesser größer als 3. **A1**

(9) Die in dieser Norm behandelten Tankbauwerke mit kreisförmigem Grundriss sind beschränkt auf rotationssymmetrische Tragwerke, die jedoch unsymmetrischen Einwirkungen ausgesetzt und unsymmetrisch unterstützt sein können.

1.2 Normative Verweisungen

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

EN 1090-2, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Anforderungen an die Ausführung von Tragwerken aus Stahl*

A1 EN 1990:2002 **A1**, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991-1-1, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-1: Einwirkungen auf Tragwerke — Wichte, Eigengewicht, und Nutzlasten für Gebäude*

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

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

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

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

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

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

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

EN 1993-1-4, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln für nicht rostende Stähle*

EN 1993-1-6:2007 ^{A1}, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln für die Tragfähigkeit und Stabilität von Schalentragsystemen

EN 1993-1-7, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-7: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln für die Tragfähigkeit und Stabilität ebener Plattentragsysteme mit Querlasten

EN 1993-1-10:2005 ^{A1}, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung

EN 1993-4-1:2007 ^{A1}, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4-1: Silos

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

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

EN 1999-1-5, Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumkonstruktionen — Teil 1-5: Schalentragsysteme;

EN 10025, ^{AC} Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen ^{AC}

EN 10028, Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen

EN 10088, Nichtrostende Stähle

EN 10149-1, Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen — Teil 1: Allgemeine Lieferbedingungen

EN 10149-2, Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen — Teil 2: Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte Stähle

EN 10149-3, Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen — Teil 3: Lieferbedingungen für normalgeglühte oder normalisierend gewalzte Stähle

EN 13084-7, Freistehende Schornsteine — Teil 7: Produktfestlegungen für zylindrische Stahlbauteile zur Verwendung in einschaligen Stahlschornsteinen und Innenrohren aus Stahl

EN 14015, Auslegung und Herstellung standortgefertigter oberirdischer, stehender, zylindrischer, geschweißter Flachboden-Stahl tanks für die Lagerung von Flüssigkeiten bei Umgebungstemperatur und bei höheren Temperaturen

EN 14620, Auslegung und Herstellung standortgefertigter stehender, zylindrischer Flachboden-Stahl tanks für die Lagerung von tiefkalt verflüssigten Gasen bei Betriebstemperaturen zwischen -5 °C und -165 °C

ISO 1000, SI units

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

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

1.3 Annahmen

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

— Herstellung und Montage stimmen mit der jeweils zutreffenden Norm EN 1090, EN 14015 und EN 14620 überein.

1.4 Unterscheidung zwischen verbindlichen Regeln und nicht verbindlichen Regeln

(1) Siehe EN 1990, 1.4.

1.5 Begriffe

(1) Falls nichts anderes angegeben ist, gelten die in EN 1990, 1.5 für den allgemeinen Gebrauch in den Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau definierten Begriffe und die Begriffe von ISO 8930 auch für diesen Teil 4-2 von EN 1993; ergänzend werden für diesen Teil 4-2 jedoch folgende Begriffe festgelegt:

1.5.1

Schale

aus einer gekrümmten dünnen Platte gebildetes Tragwerk. ^{A1} Im Tank-/Behälterbau wird dieser Ausdruck auch mit der speziellen Bedeutung „vertikale Wand eines zylindrischen Tanks“ verwendet, siehe 1.5.9 ^{A1}

1.5.2

rotationssymmetrische Schale

Schalentragwerk, dessen Geometrie durch die Rotation eines Meridians um eine zentrale Achse definiert ist

^{A1} gestrichener Text ^{A1}

1.5.3

Meridianrichtung

Tangente an die Tankwand in jedem Punkt einer Ebene, die durch die Achse des Tanks verläuft. Sie ändert sich mit dem jeweils betrachteten Tragwerksteil

1.5.4

Umfangsrichtung

horizontale Tangente an die Tankwand in jedem Punkt. Sie ändert sich längs des Tankumfanges, liegt in einer horizontalen Ebene und ist tangential zur Tankwand ^{A1} gestrichener Text ^{A1}

1.5.5

Mittelfläche

^{A1} dieser Ausdruck bezieht sich auf die spannungsfreie Mittelfläche einer Schale unter reiner Biegung in jeder Richtung ^{A1}

1.5.6

Abstand zwischen den Steifen

Mittenabstand zwischen den Längsachsen zweier benachbarter paralleler Steifen

1.5.7

Tank

Behälter zur Speicherung von Flüssigkeiten. ^{A1} In dieser Norm wird angenommen, dass er einen kreisförmigen Grundriss hat ^{A1}

1.5.8

Mantel

^{A1} der Ausdruck Mantel wird häufig im Tank-/Behälterbau angewendet, um sich auf die vertikale Wand eines zylindrischen Tanks zu beziehen. Dieser Sprachgebrauch ist im Vergleich zur in 1.5.1 angegebenen allgemeinen Definition (siehe EN 1993-1-6) etwas unscharf, wird jedoch häufig benutzt, sodass er gegebenenfalls auch in dieser Norm verwendet wird. Sofern eine Verwechslung auftreten kann, wird stattdessen der Ausdruck „zylindrische Wand“ verwendet ^{A1}

1.5.9

Tankwand

Bleche, die die vertikalen Wände, Dach oder Auslauftrichter bilden, werden als Tankwand bezeichnet. Diese Bezeichnung beschränkt sich nicht auf die vertikalen Wände

1.5.10

Schuss

zylindrische Wand des Tanks wird durch das Einfügen horizontaler Verbindungen zwischen einer Reihe kurzer zylindrischer Abschnitte hergestellt, von denen jeder durch die Verbindung einzelner gekrümmter Bleche hergestellt wird. Ein kurzer Zylinder ohne horizontale Verbindungen wird als Schuss bezeichnet

1.5.11

Auslauftrichter

zum Boden des Tanks hin zusammenlaufender Querschnitt. Er wird verwendet, um die Flüssigkeiten zu einem Schwerkraftauslass zu leiten (üblich bei Suspensionen)

1.5.12

Verbindungsstelle

Ort, an dem zwei oder mehr Schalenabschnitte $\langle A_1 \rangle$ *gestrichener Text* $\langle A_1 \rangle$ zusammentreffen. Sie kann auch eine Steife einschließen: der Anschluss einer Ringsteife an eine Schale $\langle A_1 \rangle$ *gestrichener Text* $\langle A_1 \rangle$ darf als Verbindungsstelle betrachtet werden

1.5.13

Übergang

Verbindungsstelle zwischen vertikaler Wand und Auslauftrichter. Der Übergang kann sich am unteren Ende der vertikalen Wand oder in deren unterem Bereich befinden

1.5.14

Dachecke

$\langle A_1 \rangle$ der Dacheckbereich, der alternativ als Dacheckring oder Kopfwinkel bezeichnet wird, ist die Verbindung der senkrechten Wand mit dem Dach $\langle A_1 \rangle$

1.5.15

Längssteife

örtliches Versteifungsbauteil, das einem Schalenmeridian folgt, welcher eine Erzeugende der Rotationschale darstellt. Eine Längssteife ist vorgesehen, um entweder die Stabilität zu verbessern oder bei der Einleitung örtlicher Lasten mitzuwirken oder Axiallasten zu tragen. Sie dient nicht primär dazu, die Biegetragfähigkeit für Querlasten zu erhöhen

1.5.16

Rippe

örtliches Bauteil, das eine primäre Biegelastabtragung längs eines Schalen- $\langle A_1 \rangle$ *gestrichener Text* $\langle A_1 \rangle$ meridians ermöglicht, welcher eine Erzeugende der Rotationschale darstellt $\langle A_1 \rangle$ *gestrichener Text* $\langle A_1 \rangle$. Eine Rippe wird vorgesehen, um Querlasten mittels Biegung auf das Tragwerk zu verteilen

1.5.17

Ringsteife

örtliches Versteifungsbauteil, das an einem bestimmten Punkt auf dem Meridian längs des Tragwerksumfangs verläuft. Es wird angenommen, dass die Ringsteife keine Steifigkeit in der Meridianebene des Tragwerkes hat. Sie wird verwendet, um die Stabilität zu erhöhen oder um Einzellasten einzuleiten, und ist kein Haupttragglied $\langle A_1 \rangle$ *gestrichener Text* $\langle A_1 \rangle$

1.5.18

Bodenring

Tragwerkselement, das der Umfangslinie an der Basis des Tragwerkes folgt und benötigt wird, um die angenommenen Randbedingungen praktisch sicherzustellen

1.5.19

Ringträger oder Ringbalken

\square_{A1} ein Ringträger oder Ringbalken ist ein Versteifungsbauteil in Umfangsrichtung, das sowohl in der Ebene des kreisförmigen Tragwerksquerschnittes (Schalenquerschnitt) als auch rechtwinklig dazu Biegesteifigkeit und Biegefestigkeit besitzt \square_{A1} . Ein Ringträger oder -balken ist ein Haupttragglied zur Weiterleitung örtlicher Lasten in das Schalen \square_{A1} gestrichener Text \square_{A1} tragwerk

1.5.20

kontinuierlich unterstützt

bei einem kontinuierlich unterstützten Tank sind alle Positionen längs des Umfanges in gleicher Weise unterstützt. Kleine Abweichungen von dieser Bedingung (z. B. kleine Öffnungen) beeinflussen die Anwendbarkeit dieser Definition nicht

1.5.21

diskretes Auflager

\square_{AC} Situation, bei der \square_{AC} ein Tank durch eine örtliche Konsole oder Stütze unterstützt ist, mit einer begrenzten Anzahl schmaler Lagerungen längs des Tankumfanges

1.5.22

Auffangtasse

\square_{A1} ein externes Tankbauwerk, das Flüssigkeit aufnimmt, die bedingt durch Undichtheiten oder versehentlich aus dem Haupttank austritt. 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 \square_{A1}

1.6 In Teil 4-2 von Eurocode 3 verwendete Symbole

Grundlage der verwendeten Symbole ist ISO 3898:1987.

1.6.1 Lateinische Großbuchstaben

A	Querschnittsfläche
A_1, A_2	Querschnittsfläche von oberem und unterem Flansch des Kronenringes
D	Tankdurchmesser
E	Elastizitätsmodul
H	Höhe des Teils des Tankmantels zum Flüssigkeitsspiegel; größter Bemessungswert der Füllhöhe
H_0	Höhe des Tankmantels
I	Flächenmoment 2.Grades (Trägheitsmoment)
K	Koeffizient für den Beulsicherheitsnachweis
L	Höhe des Mantelabschnittes oder Schublänge der Steife
M	Biegemoment in einem stabförmigen Bauteil
N	Axialkraft in einem stabförmigen Bauteil
N_f	für Ermüdung relevante Mindestanzahl der Lastwechsel
P	Vertikallast auf einem Dachsparren
R	Krümmungsradius einer nicht zylindrischen Schale
T	Temperatur
W	elastisches Widerstandsmoment; Gewicht

1.6.2 Lateinische Kleinbuchstaben

a	Seitenlänge einer rechteckigen Öffnung im Tankmantel
b	Seitenlänge einer rechteckigen Öffnung im Tankmantel; Breite eines Scheibenelementes in einem Querschnitt
c_p	Winddruckbeiwert
d	Durchmesser eines Mannloches oder eines Stützens
e	Abstand der Randfaser des Balkens von der Balkenachse
f_y	Bemessungswert der Streckgrenze des Stahls
f_u	Zugfestigkeit des Stahls
h	Stich des Daches (Höhe des Scheitels über der Ebene, in der das Dach mit dem Tankmantel verbunden ist); Höhe eines Schusses des Tankmantels
j	Beiwert für die Wirksamkeit der Verbindung; Spannungskonzentrationsfaktor; Zählvariable für die Mantelschüsse
l	Höhe der Schale, über der sich eine Beule bilden kann
m	Biegemoment je Längeneinheit
n	Membranspannungresultante; Anzahl der Sparren bei einem kreisförmigen Tankdach
p	Flächenlast (nicht notwendigerweise rechtwinklig zur Wand)
p_n	Druck rechtwinklig zur Tankwand (nach außen gerichtet)
r	Radius der Mittelfläche der zylindrischen Tankwand
t	Wanddicke
w	Mindestbreite des Bodenrandbleches am Bodenring
x	radiale Koordinate für das Tankdach
y	örtliche vertikale Koordinate für das Tankdach, Ersatzfaktor bei der Bemessung verstärkter Öffnungen
z	globale axiale Koordinate; Koordinate längs der vertikalen Achse eines rotationssymmetrischen Tankbauwerkes (Rotationsschale)

1.6.3 Griechische Buchstaben

α	Dachneigung
β	Neigung des Tankbodens gegen die Vertikale; $= \pi/n$ wobei n die Anzahl der Sparren ist
γ_F	Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand
δ	Durchbiegung
Δ	Änderung einer Veränderlichen
ν	Querdehnungszahl
θ	Umfangskoordinate einer Schale
σ	Normalspannung
τ	Schubspannung

1.6.4 Indizes

E	Wert für die Spannung oder Verschiebung (resultierend aus Bemessungseinwirkungen)
F	Feld; Kraft
a	ringförmig
d	Bemessungswert
f	Ermüdung
i	innen; nach innen gerichtet; Zählvariable
k	Kronenring
k	charakteristischer Wert
m	Mittelwert
min	geforderter Mindestwert
n	nominal; normal (rechtwinklig) zur Wand
o	außen; nach außen gerichtet
p	Druck
r	radial; Ring
R	Widerstand
s	am Auflager
s	Mantelblech
x	Meridianrichtung; radial; axial
y	Umfang; quer; Fließ-
0	Bezugswert
1	oberer
2	unterer
θ	Umfang (Rotationsschale)

1.7 Vorzeichenvereinbarungen

1.7.1 Vereinbarungen für das globale Koordinatensystem für kreisförmige Tanks

(1) Die folgende Vorzeichenvereinbarung gilt für das gesamte Tankbauwerk und berücksichtigt, dass der Tank kein Tragwerksteil ist. Bei den Koordinatensystemen ist darauf zu achten, dass lokale Koordinaten von Bauteilen, die mit der Tankwand 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 1.1) verwendet:

Koordinatensystem

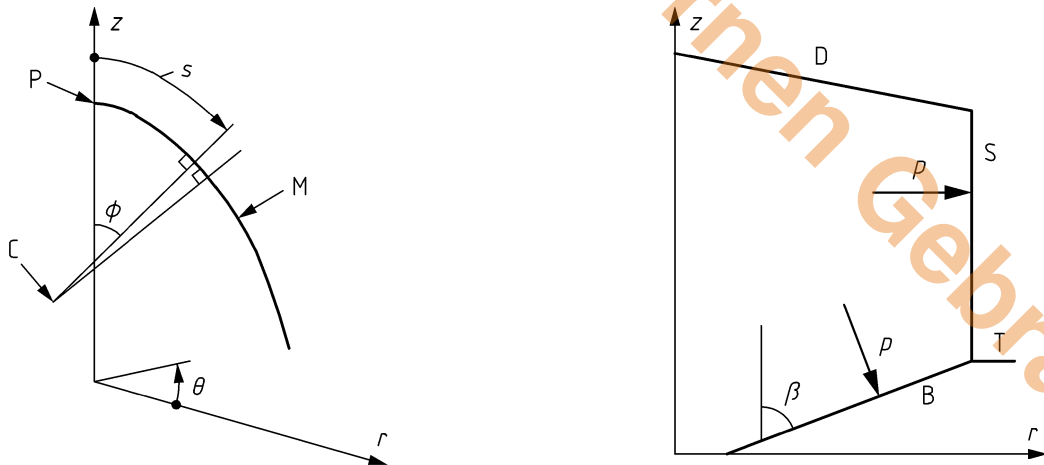
—	Koordinate längs der Achse der Rotationsschale	z
—	Radiale Koordinate	r
—	Koordinate in Umfangsrichtung	θ

(3) Die Vereinbarung für die positiven Richtungen ist:

- nach außen positiv (Innendruck positiv, Verschiebung nach außen positiv)
- Zugspannungen positiv (ausgenommen bei Beulnachweisen, wo Druck positiv ist)

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

- Druck rechtwinklig zur Schale \overline{AC} (Druck nach außen positiv) \overline{AC} p_n



Legende

P = Pol

M = Schalenmeridian

C = Pol der Meridiankrümmung

D = Dach

S = Mantel

B = Boden

T = Übergang

a) 3-D-Darstellung des globalen Koordinatensystems für rotationssymmetrische Schalenträgerwerke

b) Koordinaten und Belastung: Längsschnitt

Bild 1.1 — Koordinatensysteme für einen kreisförmigen Tank

$\overline{A1}$ gestrichener Text $\overline{A1}$

1.7.2 $\overline{A1}$ Vereinbarungen für die Achsen von Tragwerksteilen in kreisförmigen Tanks $\overline{A1}$

(1) Die Vereinbarung für Tragwerksteile, die mit der Tankwand verbunden sind $\overline{A1}$ (siehe Bild 1.2) $\overline{A1}$, ist für solche in Meridianrichtung und solche in Umfangsrichtung unterschiedlich.

(2) Die Vereinbarung für gerade, mit der Tankwand $\overline{A1}$ gestrichener Text $\overline{A1}$ verbundene Tragelemente in Meridianrichtung $\overline{A1}$ (siehe Bild 1.2a) $\overline{A1}$ ist:

- Meridiankoordinate für Zylinder, Auslauftrichter und Dachanschluss x
- starke Biegeachse (parallel zu den Flanschen) y
- schwache Biegeachse (rechtwinklig zu den Flanschen) z

$\overline{A1}$ gestrichener Text

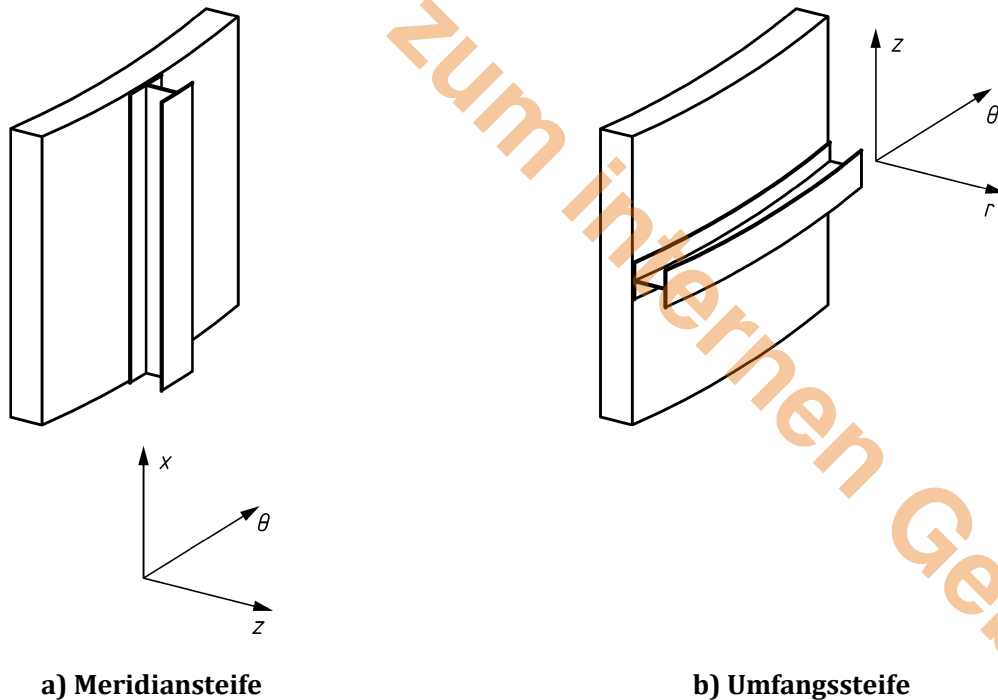


Bild 1.2 — Lokale Koordinatensysteme für Meridian- und Umfangssteifen $\langle A_1 \rangle$

$\langle A_1 \rangle$ gestrichener Text $\langle A_1 \rangle$

(3) Die Vereinbarung für gekrümmte, mit der Tankwand verbundene Tragelemente in Umfangsrichtung $\langle A_1 \rangle$ (siehe Bild 1.2b) $\langle A_1 \rangle$ ist:

- Achse der Umfangskoordinate (gekrümmt) θ
- radiale Achse r
- vertikale Achse z

$\langle A_1 \rangle$ gestrichener Text $\langle A_1 \rangle$

1.7.3 $\langle A_1 \rangle$ Vereinbarungen für Spannungsergebnisse bei kreisförmigen Tanks $\langle A_1 \rangle$

(1) Für die Indizierung von Membrankräften wird vereinbart:

Bei direkten Spannungsergebnissen 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 $\langle A_1 \rangle$ Bild 1.3 $\langle A_1 \rangle$ gezeigt.

Membranspannungsergebnisse, siehe $\langle A_1 \rangle$ Bild 1.3 $\langle A_1 \rangle$:

- n_x Membranspannungsergebnisse in Meridianrichtung
- n_θ Membranspannungsergebnisse in Umfangsrichtung in Schalen

$\langle A_1 \rangle$ gestrichener Text $\langle A_1 \rangle$

- n_{xy} oder $n_{x\theta}$ Membranschubspannungsergebnisse

Membranspannungen:

- σ_{mx} Membranspannung in Meridianrichtung
 $\sigma_{m\theta}$ Membranspannung in Umfangsrichtung in Schalen
A1 gestrichener Text **A1**
 σ_{mxy} oder $\sigma_{mx\theta}$ Membranschubspannung

(2) Für die Indizierung von Momenten wird vereinbart:

Der Index ergibt sich aus der Richtung, in welcher die Normalspannung durch das Moment erzeugt wird. Für Drillmomente wird die Vorzeichenvereinbarung in **A1** Bild 1.3 **A1** gezeigt.

ANMERKUNG Diese Vereinbarung bei Platten und Schalen weicht von der für Biegeträger und Stützen in den Teil 1-1 und Teil 1-3 von Eurocode 3 ab. Bei deren Verwendung in Verbindung mit diesen Vereinbarungen ist Vorsicht geboten.

Biegespannungsergebnisse, siehe **A1** Bild 1.3 **A1**:

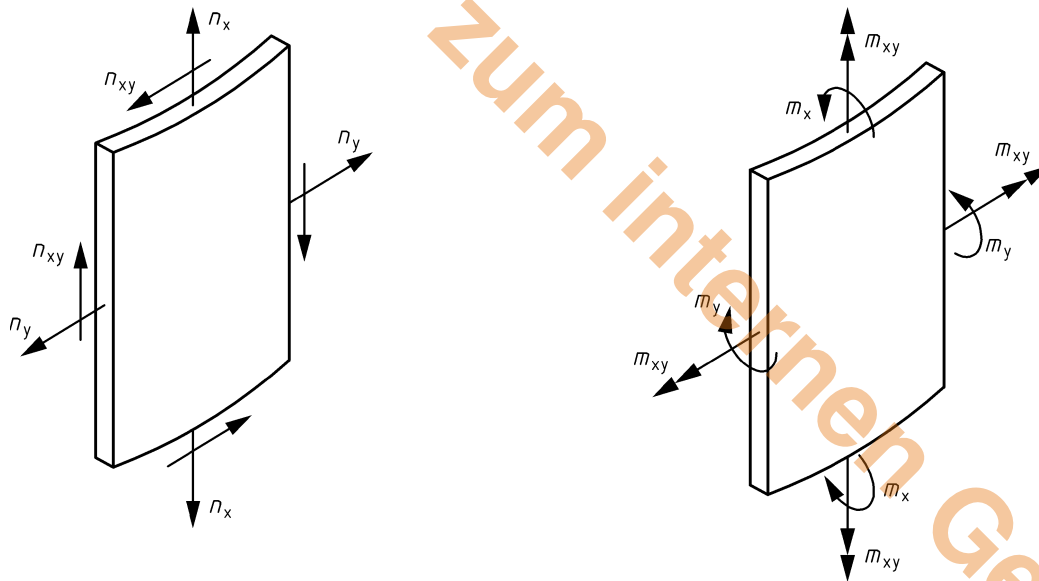
- m_x Meridianbiegemoment je Längeneinheit
 m_θ Umfangsbiegemoment je Längeneinheit in Schalen
A1 gestrichener Text **A1**
 m_{xy} oder $m_{x\theta}$ Drillmomente je Längeneinheit

Biegespannungen:

- σ_{bx} Biegespannung in Meridianrichtung
 $\sigma_{b\theta}$ Umfangsbiegespannung in Schalen
A1 gestrichener Text **A1**
 τ_{bxy} oder $\tau_{bx\theta}$ Schubspannung infolge der Drillmomente

Randfaserspannungen innen und außen:

- σ_{six} , σ_{sox} innere, äußere Randfaserspannung in Meridianrichtung
 $\sigma_{si\theta}$, $\sigma_{so\theta}$ innere, äußere Randfaserspannung in Umfangsrichtung in Schalen
A1 gestrichener Text **A1**



a) Membranspannungsresultanten

b) Biegespannungsresultanten

Bild 1.3 — Spannungsresultanten in der Tankwand (Schalen oder ebenwandige Konstruktionen)

1.8 Einheiten

(1) SI-Einheiten müssen in Übereinstimmung mit ISO 1000 verwendet werden.

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

— Maße:	m	mm
— spezifisches Gewicht (Wichte):	kN/m ³	N/mm ³
— Kräfte und Lasten:	kN	N
— Kräfte je Längeneinheit und Linienlasten:	kN/m	N/mm
— Drücke und Flächenlasten:	kPa	MPa
— spezifische Masse (Dichte):	kg/m ³	kg/mm ³
— Beschleunigung:	km/s ²	m/s ²
— Membranspannungsresultante:	kN/m	N/mm
— Biegespannungsresultante:	kNm/m	Nmm/mm
— Spannungen und Elastizitätsmodule:	kPa	MPa (= N/mm ²)

2 Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung

2.1 Anforderungen

(1) Ein Tankbauwerk muss so bemessen, konstruiert und unterhalten werden, dass es die Anforderungen von EN 1990, Abschnitt 2 mit den folgenden Ergänzungen erfüllt.

(2) Montagezustände sollten besonders betrachtet werden.

2.2 Differenzierung der Zuverlässigkeit

A1 (1) Für die Differenzierung der Zuverlässigkeit, siehe EN 1990.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf Schadensfolgeklassen für Tanks in Abhängigkeit von Standort, Art der gelagerten Flüssigkeit und des Befüllens, der Tragwerksform, der Größe sowie der Betriebsaspekte definieren.

(2) Bei der Bemessung von Tankbauwerken sollte in Abhängigkeit von der gewählten Schadensfolgeklasse, der konstruktiven Anordnung sowie der Anfälligkeit für verschiedene Versagensarten unterschiedliche Genauigkeitsniveaus angewendet werden.

(3) In der vorliegenden Norm werden drei Schadensfolgeklassen mit Anforderungen angewendet, die zu Auslegungen mit grundsätzlich gleichem Bewertungsrisiko führen und die den Aufwand und die erforderlichen Verfahren zur Verringerung des Versagensrisikos berücksichtigen: die Schadensfolgeklassen 1, 2 und 3.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf geeignete Werte für die Grenzen zwischen den Klassen auswählen. Tabelle 2.1 enthält empfohlene Werte für die Einstufung in die Schadensfolgeklasse auf der Grundlage der Größe, der Tragwerksform und der gelagerten Inhalte, wenn alle anderen Parameter zu mittleren Schadensfolgen führen, siehe EN 1990:2002, B.3.1.

(4) Die Einstufung von Flachboden-Tanks, die auf dem Boden aufliegen, beruht auf der Dimension U , die auf die mögliche Energie der gelagerten Flüssigkeit bezogen ist.

$$U = \sqrt{DH} \quad (2.1)$$

Dabei ist

D der Tankdurchmesser und H die maximale Füllhöhe (siehe Bild 2.1 a)).

Tabelle 2.1 a) — Empfohlene Definitionen für Schadensfolgeklassen in Abhängigkeit von Inhalt, Größe und Tragwerksform

Schadensfolgeklasse	Bemessungszustände
Schadensfolgeklasse 3	a) Tanks, die Flüssigkeiten oder Flüssiggase mit toxischem oder explosivem Potential lagern; b) alle Flachboden-Tanks, die zur Lagerung von Flüssigkeiten auf einem Gebäude oder im oberen Teil eines Gebäudes verwendet werden; c) alle Tanks auf einem Untergestell mit einer Schwerpunkthöhe $H_g \geq H_{ga}$ (siehe Bild 2.1 b)); d) auf dem Boden aufliegende Wassertanks mit einem Parameter U im Bereich $U > U_{3a}$; e) auf dem Boden aufliegende Tanks, in denen wassergefährdende Flüssigkeiten lagern, mit einem Parameter U im Bereich $U > U_{3b}$; f) auf dem Boden aufliegende Tanks, in denen brennbare Flüssigkeiten lagern, mit einem Parameter U im Bereich $U > U_{3c}$. Falls erforderlich, sollten Störfalllasten bei diesen Bauwerken berücksichtigt werden, siehe A.2.14.

Schadensfolgeklasse	Bemessungszustände
Schadensfolgeklasse 2	a) Alle Tanks auf einem Untergestell, die nicht zur Schadensfolgeklasse 3 gehören; b) auf dem Boden aufliegende Wassertanks mit einem Parameter U im Bereich $U_{2a} < U \leq U_{3a}$; c) auf dem Boden aufliegende Tanks, in denen wassergefährdende Flüssigkeiten lagern, mit einem Parameter U im Bereich $U_{2b} < U \leq U_{3b}$; d) auf dem Boden aufliegende Tanks, in denen brennbare Flüssigkeiten lagern, mit einem Parameter U im Bereich $U_{2c} < U \leq U_{3c}$.
Schadensfolgeklasse 1	Alle weiteren Tankbauwerke innerhalb des Anwendungsbereiches dieser Norm.

ANMERKUNG 1 Die empfohlenen Werte für Klassengrenzen sind wie folgt:

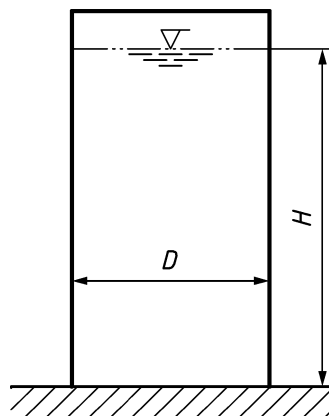
Tabelle 2.1 b) — Empfohlene Werte für die Einteilung von Klassen

Einteilung von Klassen	empfohlener Wert
H_{ga}	30 m
U_{3a}	27 m
U_{3b}	24 m
U_{3c}	15 m
U_{2a}	18 m
U_{2b}	15 m
U_{2c}	10 m

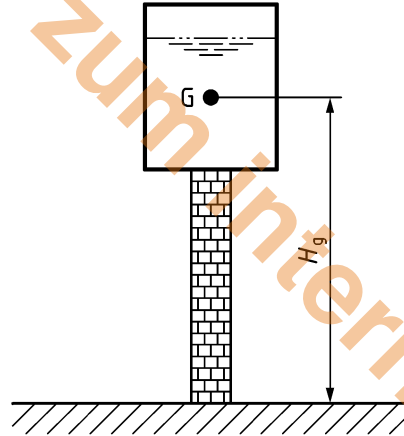
ANMERKUNG 2 Hinsichtlich der Einstufung in Anforderungsklassen siehe EN 1991-4.

(5) Eine höhere Schadensfolgeklasse als die geforderte darf immer übernommen werden.

(6) Die Auswahl der maßgeblichen Schadensfolgeklasse muss zwischen Tragwerksplaner, Kunden und zuständiger Behörde vereinbart werden.



a) Grundgeometrie des auf dem Boden aufliegenden Tankbauwerks



b) Schwerpunkthöhe der Flüssigkeit in einem Tank mit Unterstell

Bild 2.1 — Für die Schadensfolgeklassen definierte Maße $\langle A_1 \rangle$

2.3 Grenzzustände

- (1) Für diesen Teil sollten die in EN 1993-1-6 definierten Grenzzustände angewendet werden.

2.4 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse

- (1) Die allgemeinen Anforderungen des Abschnitts 4 von EN 1990 müssen erfüllt werden.
- (2) Weil die Angaben zu Lasten infolge Wind, Lasten infolge der Flüssigkeitsfüllung, Lasten infolge des Innendruckes, Lasten infolge Wärmeeinwirkungen, Lasten bedingt durch Rohre, Ventile und andere am Tank angebrachte Gegenstände, Lasten infolge ungleichmäßiger Bodensetzung und Störfalllasten nach EN 1991 nicht vollständig sind, enthält Anhang A weitere spezielle Informationen.

2.5 Werkstoffeigenschaften

- (1) Die allgemeinen Anforderungen in EN 1993-1-1 an Werkstoffeigenschaften sollten befolgt werden.
- (2) Es sollten die in Abschnitt 3 dieses Teils angegebenen spezifischen Eigenschaften von Werkstoffen für Tanks verwendet werden.

2.6 Geometrische Größen

- (1) Die allgemeinen Informationen in EN 1990 über geometrische Größen dürfen verwendet werden.
- (2) Die für Schalentragwerke spezifischen zusätzlichen Informationen in EN 1993-1-6 dürfen verwendet werden.
- (3) In den Berechnungen sollten die in 4.1.2 angegebenen Blechdicken verwendet werden.

2.7 Modellierung des Tankbauwerks zur Bestimmung der Effekte der Einwirkungen

- (1) Die allgemeinen Anforderungen von EN 1990 müssen befolgt werden.
- (2) Die in 5.5, $\langle A_1 \rangle$ 6.5 $\langle A_1 \rangle$ $\langle A_1 \rangle$ gestrichener Text $\langle A_1 \rangle$ für die Tragwerksberechnung im Hinblick auf die Gebrauchsfähigkeit gestellten spezifischen Anforderungen sollten für die maßgebenden Tragwerksabschnitte verwendet werden.

(3) Die in \square_{A1} 5.3 und 6.3 \square_{A1} (und detaillierter in EN 1993-1-6) für die Tragwerksberechnung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit gestellten spezifischen Anforderungen sollten angewendet werden.

2.8 Versuchsgestützte Bemessung

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

2.9 Effekte der Einwirkungen für Nachweise der Grenzzustände

2.9.1 Allgemeines

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

2.9.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Grenzzustände der Tragfähigkeit

2.9.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Tankbauwerke

(1) Für andauernde und vorübergehende Bemessungszustände müssen die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F angewendet werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Werte für den Teilsicherheitsbeiwert γ_F zur Verfügung stellen. Tabelle 2.1 enthält die empfohlenen Werte für γ_F .

(2) Für außergewöhnliche Bemessungszustände müssen die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F für veränderliche Einwirkungen angewendet werden. Dies gilt auch für die Flüssigkeitsbelastung von Auffangtassen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Werte für den Teilsicherheitsbeiwert γ_F zur Verfügung stellen. Tabelle 2.1 enthält die empfohlenen Werte für γ_F .

(3) Teilsicherheitsbeiwerte für werksgefertigte Tanks müssen festgelegt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Werte für den Teilsicherheitsbeiwert γ_F zur Verfügung stellen. Tabelle 2.1 enthält die empfohlenen Werte für γ_F .

Tabelle 2.1 — Empfohlene Werte für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Tankbauwerke für andauernde, vorübergehende und außergewöhnliche Bemessungszustände

Bemessungs- zustand	Art der Flüssigkeit	empfohlene Werte für γ_F bei veränderlichen Flüssigkeitseinwirkungen	empfohlene Werte für γ_F bei ständigen Einwirkungen
Flüssigkeitslasten während des Betriebs	giftige, explosive oder gefährliche Flüssigkeiten	1,40	1,35
	entflammbare Flüssigkeiten	1,30	1,35
	sonstige Flüssigkeiten	1,20	1,35
Flüssigkeitslasten während der Prüfung	alle Flüssigkeiten	1,00	1,35
außergewöhnliche Einwirkungen	alle Flüssigkeiten	1,00	

2.9.2.2 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 EN 1993-1-6, Abschnitt 9 entsprechen.
- (3) Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M müssen nach Tabelle 2.2 festgelegt werden.

Tabelle 2.2 — Teilsicherheitsbeiwerte für den Widerstand

Widerstand gegen folgende Versagensarten	relevanter Teilsicherheitsbeiwert γ
Widerstand der geschweißten oder verschraubten Schalenwand gegenüber dem plastischen Grenzzustand, Querschnittswiderstand	γ_{M0}
Stabilitätswiderstand der Schalenwand	γ_{M1}
Bruchwiderstand der geschweißten oder verschraubten Schalenwand	γ_{M2}
Widerstand der Schalenwand gegenüber zyklischer Plastizierung	γ_{M4}
Widerstand von geschweißten oder geschraubten Verbindungen oder Stößen	γ_{M5}
Ermüdungswiderstand der Schalenwand	γ_{M6}

ANMERKUNG Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} können im Nationalen Anhang definiert werden. Für Werte von γ_{M5} können weitere Hinweise in EN 1993-1-8, für solche von γ_{M6} in EN 1993-1-9 gefunden werden. Für Tankbauwerke werden die folgenden Zahlenwerte empfohlen:

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

2.9.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

- (1) Wenn in den maßgebenden Vorschriften, die sich mit den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit beschäftigen, vereinfachte Verträglichkeitsregeln gegeben sind, brauchen keine detaillierten Berechnungen mit Einwirkungskombinationen durchgeführt werden.
- (2) Für alle Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sollten die Werte für γ_{Mser} festgelegt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Hinweise für den Wert des Teilsicherheitsbeiwert der Gebrauchstauglichkeit γ_{Mser} zur Verfügung stellen; es wird $\gamma_{Mser} = 1$ empfohlen.

A1 gestrichener Text **A1**

2.10 Dauerhaftigkeit

- (1) Die in EN 1990 festgelegten allgemeinen Anforderungen sollten befolgt werden.

3 Werkstoffeigenschaften

3.1 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 diesem Abschnitt angegebenen Werkstoffeigenschaften sollten als Nennwerte angesehen werden, die als charakteristische Werte für die Bemessung angenommen werden.
- (4) Andere Werkstoffeigenschaften werden in den in EN 1993-1-1 definierten maßgebenden Bezugsnormen angegeben.
- (5) Wenn der Tank mit heißen Flüssigkeiten befüllt werden darf, sollten die für die höchsten auftretenden Temperaturen entsprechend verringerten Werte der Werkstoffeigenschaften angewendet werden.
- (6) Die Werkstoffeigenschaften bei erhöhter Temperatur ($T > 100\text{ °C}$ für Baustähle und $T > 50\text{ °C}$ für nichtrostende Stähle) sollten aus EN 13084-7 entnommen werden.

3.2 Baustähle

- (1) Die in diesem Teil 4-2 von EN 1993 angegebenen rechnerischen Bemessungsverfahren dürfen für die in EN 1993-1-1 aufgeführten Baustähle angewendet werden, die den Teilen 2 bis 6 von EN 10025 entsprechen. Die Verfahren dürfen auch auf die Stähle in EN 1993-1-3 angewendet werden.
- (2) Die mechanischen Eigenschaften von Baustählen nach EN 10025 oder $\boxed{\text{AC}}$ EN 10149 $\langle \text{AC} \rangle$ sollten EN 1993-1-1 oder EN 1993-1-3 entnommen werden.

3.3 Druckbehälterstähle

- (1) Die in diesem Teil 4-2 von EN 1993 angegebenen rechnerischen Bemessungsverfahren dürfen für Druckbehälterstähle nach EN 10028 verwendet werden, wenn:
- die Streckgrenze in dem durch EN 1993-1-1 abgedeckten Bereich liegt;
 - die Bruchdehnung nicht geringer ist als der Mindestwert von Stählen nach EN 1993-1-1, die die gleiche Mindeststreckgrenze haben;
 - das Verhältnis f_u/f_y nicht kleiner ist als 1,10.
- (2) Die mechanischen Eigenschaften von Druckbehälterstählen sollten EN 10028 entnommen werden.
- (3) Wenn im Rahmen der Bemessung ein Stabilitätsnachweis durchzuführen ist, sollten in geeigneter Weise verminderte Eigenschaften verwendet werden, siehe EN 1993-1-6, 3.1.

ANMERKUNG Weitere Hinweise können im Nationalen Anhang gegeben werden.

3.4 Nichtrostende Stähle

- (1) Die mechanischen Eigenschaften nichtrostender Stähle nach EN 10088 sollten EN 1993-1-4 entnommen werden.

(2) Hinweise für die Auswahl der nichtrostenden Stähle im Hinblick auf Korrosionseinwirkungen dürfen aus geeigneten Quellen entnommen werden.

(3) Wenn im Rahmen der Bemessung ein Stabilitätsnachweis durchzuführen ist, sollten in geeigneter Weise verminderte Eigenschaften verwendet werden (siehe EN 1993-1-6).

3.5 Zähigkeitsanforderungen

3.5.1 Allgemeines

Ⓐ₁ (1) Die Zähigkeitsanforderungen für die Bezugstemperatur T_{ed} sollten nach EN 1993-1-10 bestimmt werden.

(2) Die niedrigste Auslegungswandtemperatur T_{MDMT} sollte nach 3.5.2 bestimmt werden. Die Temperatur T_{MDMT} sollte an Stelle von $(T_{md} + \Delta T_r)$ in EN 1993-1-10:2005, 2.2 (5), verwendet werden. Ⓐ₁

3.5.2 Niedrigste Auslegungswandtemperatur

Ⓐ₁ (1) Die niedrigste Auslegungswandtemperatur T_{MDMT} sollte der Mindestwert der niedrigsten Temperatur des Lagergutes oder der in Tabelle 3.1 angegebenen Temperaturen 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 verwendet 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.

Tabelle 3.1 — 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
$-10\text{ °C} \leq T_{LODMAT}$	$T_{LODMAT} + 5\text{ °C}$	$T_{LODMAT} + 10\text{ °C}$
$-25\text{ °C} \leq T_{LODMAT} \leq -10\text{ °C}$	T_{LODMAT}	$T_{LODMAT} + 5\text{ °C}$
$T_{LODMAT} \leq -25\text{ °C}$	$T_{LODMAT} - 5\text{ °C}$	T_{LODMAT}

Ⓐ₁

4 Grundlagen der Tragwerksberechnung

4.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit

4.1.1 Grundlagen

(1) Stahltragwerke und Bauteile sollten so dimensioniert werden, dass die in Abschnitt 2 angegebenen grundlegenden Anforderungen an Konstruktion und Bemessung erfüllt werden.

4.1.2 Blechdicke für die Ermittlung der Widerstände

(1) Bei der Berechnung des Widerstandes ist als Bemessungswert der Blechdicke die Nenndicke nach EN 10025, EN 10028, Ⓐ_{AC} EN 10149 Ⓐ_{AC} oder EN 10088 vermindert um den maximalen Wert der Minustoleranz und einen Korrosionszuschlag nach 4.1.3 zu verwenden.

4.1.3 **Korrosionszuschlag**

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

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

(3) Die durch die Auswirkungen der Korrosion bedingte Wanddickenreduktion 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.

Gegebenenfalls darf auf EN 12285-1:2003, Anhang B, verwiesen werden.

(4) Die Wanddickenverluste und die Beeinflussung des inneren Tragwerks infolge der Korrosion sollten bei den Bemessungsberechnungen berücksichtigt werden.

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

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

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

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

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

4.1.4 **Ermüdung**

(1) Bei häufigen Lastwechseln muss das Tragwerk hinsichtlich des Grenzzustandes der Ermüdung überprüft werden.

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

(3) Wenn veränderliche Einwirkungen mit mehr als N_f Lastwechseln während der Entwurfslebensdauer des Tragwerkes auftreten, sollte die Ermüdungsfestigkeit (LS4) nach EN 1993-1-6, Abschnitt 9, überprüft werden.

ANMERKUNG Der Wert Nationale Anhang kann den Wert für die Lastwechselzahl N_f zur Verfügung stellen. Empfohlen wird ein Wert von $N_f = 10\ 000$.

4.1.5 **Berücksichtigung von Temperatureinflüssen**

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

4.2 Tragwerksberechnung eines kreisförmigen Tanks

4.2.1 Modellierung des Schalentragwerks

- (1) Die Modellierung des Schalentragwerks sollte den Anforderungen von EN 1993-1-6 entsprechen, aber diese können unter den folgenden Voraussetzungen als erfüllt angesehen werden.
- (2) Die Modellierung des Schalentragwerks sollte alle Steifen, Öffnungen und Anschlüsse einschließen.
- (3) Die Bemessung sollte sicherstellen, dass die angenommenen Randbedingungen erfüllt sind.

4.2.2 Berechnungsverfahren

4.2.2.1 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 Schadensfolgeklasse festgelegte verwendet werden.
- (3) Unabhängig von der ausgewählten Zuverlässigkeitsklasse darf die in A_1 Abschnitt 7 A_1 beschriebene vereinfachte Bemessung angewendet werden, wenn die dort angegebenen Bedingungen erfüllt werden.

4.2.2.2 Schadensfolgeklasse 1

- (1) Für Tanks in Schadensfolgeklasse 1 darf die Membrantheorie zur Bestimmung der Primärspannungen verwendet werden zusammen mit Faktoren und vereinfachten Ausdrücken zur Beschreibung lokaler Biegeeffekte und unsymmetrischer Einwirkungen.

4.2.2.3 Schadensfolgeklasse 2

- (1) Für Tanks in Schadensfolgeklasse 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 mit Ausdrücken der elastischen Biegetheorie zur Beschreibung aller lokalen Effekte.
 - b) Es darf eine anerkannte numerische Berechnung (z. B.: Schalenberechnung mit finiten Elementen) entsprechend der Definition in EN 1993-1-6 verwendet werden.
- (2) Wenn die Belastungsbedingung nicht rotationssymmetrisch ist, sollte, außer bei den unter (3) und (4) im Folgenden dargestellten Bedingungen, eine anerkannte numerische Berechnung verwendet werden.
- (3) Wenn die Laständerung um die Schale glatt verläuft und nur globale Biegung erzeugt (d. h. in Form der 1. Harmonischen), darf trotz (2) die Membrantheorie zur Bestimmung der Primärspannungen verwendet werden.
- (4) Für die Berechnung der Einwirkungen infolge Windlasten und/oder Fundamentsetzungen darf die Semimembrantheorie oder die Membrantheorie verwendet werden.

ANMERKUNG Für Hinweise zur Membrantheorie siehe EN 1993-1-6. Die Semimembrantheorie beschreibt das Verhalten der Membran in Wechselwirkung mit der Biegesteifigkeit in Umfangsrichtung.

(5) Wenn die Membrantheorie zur Schalenberechnung verwendet wird, dürfen mit einer isotropen zylindrischen Tankwand verbundene einzelne Ringe unter Innendruck, außer wenn der Ring an einem Schalenübergang liegt, mit einer wirksamen Fläche angenommen werden, die oberhalb und unterhalb des Ringes eine Schalenlänge von $0,78\sqrt{rt}$ einschließt.

(6) Wenn die Schale durch einzelne vertikale Steifen versteift ist, dürfen, unter der Voraussetzung, dass der Steifenabstand nicht größer als $5\sqrt{rt}$ ist, die Spannungen in den Steifen und der Schalenwand berechnet werden, indem die Steifen als über die Schalenwand verschmiert betrachtet werden.

(7) Wenn die vertikalen Steifen verschmiert werden, sollten die Spannungen in der Steife unter geeigneter Berücksichtigung der Kompatibilität zwischen Steife und Wand und der Spannung in der Wand in der orthogonalen Richtung entsprechend 4.4 bestimmt werden.

(8) Wenn ein Ringträger auf Einzelstützen 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 bezüglich der Schalenwand und der Mittellinie der Unterstützung einbezogen sein.

(9) Wenn ein Ringträger als ein prismatischer Querschnitt behandelt wird (verdrehungsfrei), sollte die Plattenschlankheit des vertikalen Stegsegmentes nicht größer als $b/t = 20$ sein.

(10) Wenn ein Ringträger verwendet wird, um die Kräfte auf Einzelstützen zu verteilen, und Schrauben oder einzelne Verbindungen verwendet werden, um die Tragwerksteile zu verbinden, sollte die Querkraftübertragung zwischen den Ringteilen infolge Schalen- und Ringträgerbiegung bestimmt werden.

4.2.2.4 Schadensfolgeklasse 3

(1) Für Tanks in Schadensfolgeklasse 3 sollten die Schnittkräfte und -momente mit einer als gültig erwiesenen numerischen Berechnung (z. B.: Schalenberechnung mit finiten Elementen) entsprechend der Definition in EN 1993-1-6 bestimmt werden. Der plastische Grenzzustand (LS1) darf durch die plastische Grenzlast unter Primärspannungen nach EN 1993-1-6 beurteilt werden.

4.2.3 Geometrische Imperfektionen

(1) Die geometrischen Imperfektionen der Schale sollten den in EN 1993-1-6 festgelegten Grenzen genügen.

(2) Für Tanks in den Schadensfolgeklassen 2 und 3 sollten die geometrischen Imperfektionen nach Ausführung des Baus gemessen werden um sicherzustellen, dass die vorgesehene Herstellungstoleranz eingehalten worden ist.

(3) Die geometrischen Imperfektionen der Schale brauchen bei der Bestimmung der Schnittkräfte und Momente nicht explizit erfasst werden, sofern keine GNIA- oder GMNIA-Berechnung nach EN 1993-1-6 verwendet wird.

A1 gestrichener Text A1

4.3 Gleichwertige orthotrope Eigenschaften von Wellprofilen

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

(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 Beuluntersuchung des Tragwerkes verwendet werden. Die Eigenschaften dürfen nach EN 1993-4-1, 4.4, bestimmt werden.

5 Bemessung von zylindrischen Wänden

5.1 Grundlagen

5.1.1 Allgemeines

(1) Zylindrische Schalenwände sollten so dimensioniert werden, dass die grundlegenden Anforderungen an Konstruktion und Bemessung für den in Abschnitt 2 angegebenen Grenzzustand der Tragfähigkeit erfüllt werden.

(2) Der Sicherheitsnachweis der zylindrischen Schale sollte mit den Bestimmungen von EN 1993-1-6 durchgeführt werden.

5.1.2 Wandbemessung

(1) Die zylindrische Schalenwand des Tanks sollte für alle in EN 1993-1-6 definierten Grenzzustände hinsichtlich der folgenden Erscheinungen überprüft werden:

- globale Stabilität und statisches Gleichgewicht
- LS1: plastische Grenze
- LS2: zyklische Plastizierung
- LS3: Beulen
- LS4: Ermüdung

(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) Für Tanks in Schadensfolgeklasse 1 dürfen die Grenzzustände der zyklischen Plastizierung und der Ermüdung unberücksichtigt bleiben.

5.2 Unterscheidung zylindrischer Schalenformen

(1) Eine zylindrische Schalenwand aus eben gewalztem Stahlblech wird als „isotrop“ bezeichnet (siehe EN 1993-4-1, 5.3.2).

(2) Eine zylindrische Schalenwand aus Wellprofilen aus Stahl, deren Wellung um den Umfang des Tanks herum reicht, wird als „horizontal gewellt“ bezeichnet (siehe EN 1993-4-1, 5.3.4).

(3) Eine zylindrische Schalenwand mit Steifen auf der Außenseite wird ungeachtet des Steifenabstandes als „außenversteift“ bezeichnet (siehe EN 1993-4-1, 5.3.3).

5.3 $\boxed{A_1}$ Widerstand der Tragwerksabschnitte des Tanks $\boxed{A_1}$

(1) Der Widerstand der zylindrischen Schale sollte nach den Bestimmungen von EN 1993-1-6 ermittelt werden, sofern nicht die Absätze von 5.4 Bestimmungen enthalten, von denen angenommen wird, dass sie den Bestimmungen jener Norm genügen.

(2) Der Schweißnahtfaktor für voll durchgeschweißte Stumpfnähte darf mit 1 angesetzt werden, wenn je nach Gültigkeit die Anforderungen von EN 14015 oder EN 14620 erfüllt sind.

(3) Für andere Arten von Verbindungen sollte deren Bemessung mit EN 1993-1-8 übereinstimmen.

Ⓐ) (4) Die Bemessung von konischen Trichtern sollte den Anforderungen von EN 1993-4-1 genügen.

(5) Die Bemessung von Übergängen am unteren Rand einer zylindrischen Wand und an unterstützenden Ringträgern sollte den Bestimmungen von EN 1993-4-1 genügen. Ⓐ)

5.4 Betrachtungen für Unterstützungen und Öffnungen

5.4.1 Durch eine Standzarge unterstützter Tankmantel

(1) Wenn die zylindrische Schale von einer Standzarge unterstützt wird, sollte diese den Bestimmungen von EN 1993-4-1 genügen.

5.4.2 Zylindrische Schale mit eingebundenen Stützen

(1) Wenn die zylindrische Schale durch eingebundene Stützen unterstützt wird, sollten diese den Bestimmungen von EN 1993-4-1 genügen.

5.4.3 Zylindrische Schale auf Einzelstützen

(1) Wenn die zylindrische Schale an einzelnen Stellen durch Stützen oder andere Vorrichtungen unterstützt wird, sollten die Bestimmungen von EN 1993-4-1 für diesen Fall erfüllt werden.

5.4.4 Diskret unterstützte Tanks mit Stützen unter dem Auslauftrichter

(1) Diskret unterstützte Tanks mit Stützen unter dem Auslauftrichter sollten den Bestimmungen von EN 1993-4-1 genügen.

5.4.5 Details der örtlichen Unterstützung und Rippen für die Lasteinleitung in die Zylinderwandung

5.4.5.1 Örtliche Unterstützungen unter der Zylinderwand

(1) Örtliche Unterstützungen unter der Zylinderwand sollten den Bestimmungen von EN 1993-4-1 genügen.

5.4.5.2 Örtliche Rippen für die Lasteinleitung in die Zylinderwandung

(1) Örtliche Rippen für die Lasteinleitung in die Zylinderwandung sollten den Bestimmungen von EN 1993-4-1 genügen.

5.4.6 Öffnungen in Tankwänden

5.4.6.1 Allgemeines

(1) Wenn eine Öffnung in der zylindrischen Tankwand die Tragfähigkeit mindert oder die Stabilität der Schale gefährdet, sollte die Öffnung verstärkt werden.

(2) Diese Verstärkung kann erreicht werden durch:

- eine größere Dicke des Mantelbleches;
- die zusätzliche Anordnung eines Verstärkungsbleches;

— einen vorhandenen Stutzen.

ANMERKUNG Die Bemessung für den plastischen Grenzzustand der Tragfähigkeit (LS1) wird im Allgemeinen in Bereichen hoher Druckbelastung (Flüssigkeitsdruck und Innendruck) maßgebend, während Stabilitätsuntersuchungen (LS3) für die Bemessung in Bereichen, in denen wegen kleiner Drücke (obere Schüsse) die Blechdicke geringer ist, maßgebend werden können.

5.4.6.2 Mantelstutzen mit kleiner Nennweite

(1) Mantelstutzen mit einem Außendurchmesser kleiner als 80 mm werden als Mantelstutzen mit kleiner Nennweite bezeichnet.

(2) Eine Verstärkung ist nicht erforderlich, wenn die Wanddicke am Stutzen nicht kleiner ist als in Tabelle 5.1 angegeben.

Tabelle 5.1 — Mindestwanddicke von Stutzen

Außendurchmesser d_n von Mannloch oder Stutzen mm	Mindestnenndicke $t_{ref,n}$ mm	
	unlegierter Stahl	austenitischer und austenitisch-ferritischer nichtrostender Stahl
$d_n \leq 50$	5,0	3,5
$50 < d_n \leq 75$	5,5	5,0
$75 < d_n \leq 80$	7,5	6,0

5.4.6.3 Bemessung von Mantelmannlöchern und Mantelstutzen mit großer Nennweite für LS1

(1) Mantelmannlöcher und Mantelstutzen mit einem Außendurchmesser größer als 80 mm werden als Mantelmannlöcher bzw. Mantelstutzen mit großer Nennweite bezeichnet.

(2) Die Bemessung kann entweder nach dem Flächenersatzverfahren nach den Absätzen (3) und (4) oder alternativ nach dem in den Absätzen (5) und (6) beschriebenen Verfahren durchgeführt werden.

(3) Es sollte in der vertikalen Ebene, die durch den Mittelpunkt der Öffnung geht, eine Verstärkung ΔA der Querschnittsfläche vorgesehen werden, die gegeben ist durch:

$$\Delta A = 0,75dt_{ref} \quad (5.1)$$

Dabei ist

d der Durchmesser des Loches im Mantelblech;

t_{ref} die für das Mantelblech ohne Öffnung bei der Bemessung nach LS1 benötigte Dicke.

(4) Die verstärkende Fläche ΔA kann durch jedes oder jede Kombination der folgenden drei Verfahren zur Verfügung gestellt werden:

a) Verwendung eines Rohr- oder Mannlochstutzens. Der Anteil des Stutzens, der als Verstärkung angesetzt werden darf, ist der innerhalb der Dicke des Mantelbleches und innerhalb eines Abstandes von der Mantelblechoberfläche, der das Vierfache der Stutzenwanddicke beträgt, sofern nicht die Stutzenwand-

dicke innerhalb dieses Abstandes abnimmt und die Grenze an dem Punkt liegt, an dem die Abnahme beginnt.

- b) Verwendung eines dickeren Einsatzbleches oder eines Verstärkungsbleches, für deren verstärkende Wirkung als Einschränkung gilt $1,5d < d_n < 2d$, wobei d_n der wirksame Durchmesser der Verstärkung ist. Andere als kreisrunde Verstärkungsbleche dürfen verwendet werden, wenn die Mindestanforderungen erfüllt sind.
- c) Verwendung eines Mantelbleches, das dicker ist als nach der Bemessung des Mantelbleches ohne Öffnung nach LS1 erforderlich. Die Grenze der Verstärkung ist die gleiche, wie in (b) beschrieben.

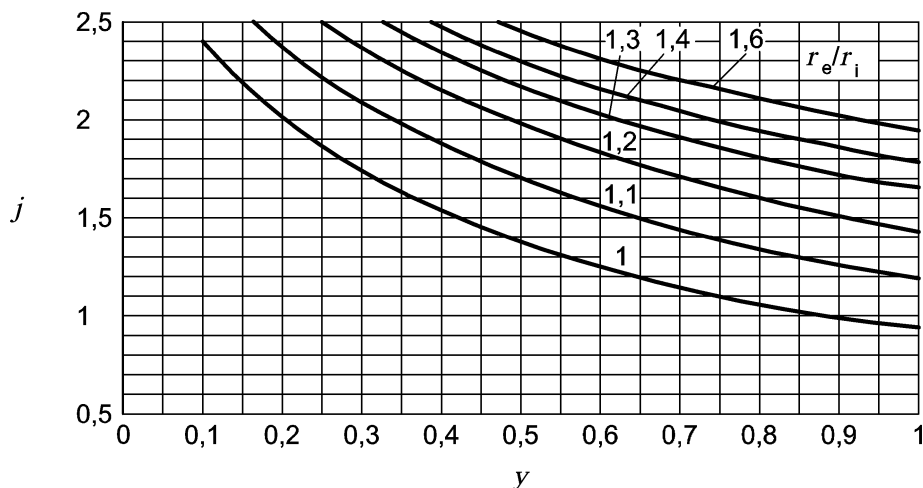
(5) Als Alternative zu dem in (3) und (4) beschriebenen Flächenersatzverfahren darf die Verstärkung durch einen Mantelstützen erzielt werden, der beiderseits des Mantelbleches um nicht weniger als $1,17 \sqrt{r_m t_{ref,n}}$ hervorsticht. Dieses Verfahren sollte nicht verwendet werden, wenn der Stützen nicht mehr als 100 mm vom Bodenringblech entfernt ist.

(6) Die Wanddicke des Stützens sollte so gewählt werden, dass der Spannungskonzentrationsfaktor j den Wert 2,0 nicht überschreitet. Der Spannungskonzentrationsfaktor j sollte aus Bild 5.1 unter Verwendung des Ersatzfaktors y ermittelt werden. Der Ersatzfaktor y sollte ermittelt werden aus:

$$y = 1,56 \frac{t_n}{t} \sqrt{\frac{t_n}{r_m}} + \left(\frac{t_n}{2r_m} \right) \quad (5.2)$$

Dabei ist

- t \square_{A1} die Mantelblechdicke, die erforderlich ist, um dem Innendruck aus der gelagerten Flüssigkeit und dem Überdruck allein zu widerstehen \square_{A1} ;
- t_n die Stützenwanddicke;
- r_m der mittlere Radius des Stützens (Stützenmittelfläche);
- r_e der Außenradius des Stützens;
- r_i der Innenradius des Stützens.



Legende

- j Spannungskonzentrationsfaktor
- y Ersatzfaktor

Bild 5.1 — Spannungskonzentrationsfaktor für rohrförmige Stützenverstärkungen

5.4.6.4 Bemessung für LS3 bei Mantelöffnungen

(1) Der Einfluss von Öffnungen auf die Schalenstabilität darf vernachlässigt werden, wenn die dimensionslose Öffnungsgröße η kleiner ist als $\eta_{\max} = 0,6$ und η gegeben ist durch:

$$\eta = \frac{r_0}{\sqrt{rt}} \quad (5.3)$$

Dabei ist

r der Radius der zylindrischen Schale bei der Öffnung;

t die Dicke der unversteiften Schale bei der Öffnung;

r_0 der Radius der Öffnung.

(2) Wenn die Öffnung rechteckig ist, darf für den gleichwertigen Öffnungsradius angesetzt werden:

$$r_0 = \frac{a + b}{4} \quad (5.4)$$

Dabei ist

a die horizontale Seitenlänge der Öffnung;

b die vertikale Höhe der Öffnung.

(3) Wenn der Radius der Öffnung r_0 kleiner ist als ein Drittel des Radius r der zylindrischen Schale, braucht der ermittelte Beulwiderstand nicht als Folge der Öffnung vermindert zu werden, sofern die durch die Öffnung entfallene Querschnittsfläche kleiner ist als die verstärkende Querschnittsfläche ΔA . Die Verstärkung kann nach 5.4.6.3 (4) oder durch Steifen in Meridianrichtung vorgesehen werden.

(4) Wenn Meridiansteifen zur Verstärkung der Öffnung verwendet werden, sollte die Querschnittsfläche einer jeden Steife zu den Enden hin vermindert werden, um Beulen infolge der Spannungskonzentration im Mantelblech nahe bei den Steifenenden zu vermeiden.

5.4.7 Tankverankerung

(1) Die Verankerung sollte in erster Linie an der zylindrischen Schale und nicht nur am Bodenringblech angeschlossen werden.

(2) Der Entwurf sollte Bewegungen des Tanks infolge Temperaturänderungen und hydrostatischem Druck ermöglichen, damit die in den Mantel infolge dieser Einflüsse eingeleiteten Spannungen minimiert werden.

A1 (3) Wird ein gleichmäßig unterstützter, verankerter Tank horizontalen Lasten (z. B. Wind) ausgesetzt, sollten die Ankerkräfte entweder entsprechend der linearen Schalenbiegetheorie oder der Semi-Membrantheorie berechnet werden. Sie sollten nicht nach der Balkentheorie berechnet werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass diese Kräfte örtlich viel größer sind als die nach der Balkentheorie bestimmten Kräfte. Siehe Absatz (3) in EN 1993-4-1:2007, 5.4.7. **A1**

(4) Die Bemessung der zylindrischen Schale für die lokalen Ankerkräfte und aus der Verankerung resultierenden Biegemomente sollte den Bestimmungen von **AC** 1993-4-1 **AC** genügen.

5.5 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

5.5.1 Grundlage

- (1) Als Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit für zylindrische Wände sollten angenommen werden:
- Verformungen und Verschiebungen, die die effektive Verwendung des Tragwerkes nachteilig beeinflussen;
 - Verformungen, Verschiebungen oder Schwingungen, die nicht-tragende Teile schädigen.
- (2) Verformungen, Verschiebungen und Schwingungen sollten begrenzt werden, um den obigen Kriterien zu genügen.
- (3) Spezifische Grenzwerte, die für den vorgesehenen Verwendungszweck geeignet sind, sollten zwischen dem Tragwerksplaner, dem Kunden und der zuständigen Behörde unter Berücksichtigung des vorgesehenen Verwendungszwecks und der Beschaffenheit des flüssigen Lagergutes vereinbart werden.

☐ gestrichener Text ☐

6 Bemessung kreisförmiger Dachtragwerke

6.1 Grundlagen

6.1.1 Allgemeines

- (1) Tankdächer aus Stahl sollten so dimensioniert werden, dass sie den grundlegenden Anforderungen an die Bemessung in Abschnitt 2 für den Grenzzustand der Tragfähigkeit genügen.
- (2) Der Sicherheitsnachweis der kugel- oder kegelförmigen Schale sollte mit den Bestimmungen von EN 1993-1-6 durchgeführt werden.
- (3) Der Sicherheitsnachweis der Unterstützungsstruktur für die Dachhaut sollte mit den Bestimmungen von EN 1993-1-1 durchgeführt werden.

6.1.2 Dachbemessung

- (1) Das Dach sollte überprüft werden hinsichtlich:
- Beulwiderstand;
 - Widerstand der Verbindungen (Anschlüsse);
 - Widerstand gegen Bruch unter Innendruck.
- (2) Die Dachbleche sollten den Bestimmungen von EN 1993-1-6 genügen, sofern nicht ☐ 6.3 bis 6.5 ☐ ein alternatives Verfahren vorsehen.

6.2 Unterscheidung von Dachtragwerksformen

- (1) Das Dach kann eine kugel- oder kegelförmige, eine torisphärische oder eine torikonische Form haben. Wenn große Innendrucke über dem Flüssigkeitsspiegel auftreten, sollte eine torisphärische oder torikonische Form bevorzugt werden.

- (2) Ein Dachtragwerk in einer der in (1) beschriebenen Formen darf entweder ungestützt oder durch Tragglieder unterstützt sein.
- (3) Die Unterstützungskonstruktion des Daches nach (2) darf auf Stützen aufliegen.
- (4) Die Unterstützungskonstruktion des Daches darf unterhalb oder oberhalb der Dachbleche angeordnet sein.
- (5) Die Dachbleche dürfen:
- unverbunden auf dem Gespärre aufliegen;
 - mit dem Gespärre verbunden sein.
- (6) Wenn ein Reißnahteffekt für das Dach gefordert wird, sollte Typ (a) verwendet werden.
- (7) Bei außen angeordnetem Gespärre sollte Typ (b) verwendet werden.

6.3 Widerstand von kreisförmigen Dächern

- (1) Die Dachbleche sollten den Bestimmungen von EN 1993-1-6 genügen, soweit nicht in **A1** 6.4 **A1** andere Regelungen angegeben werden.
- (2) Das Gespärre sollte den Bestimmungen von EN 1993-1-1 genügen.
- (3) Die Bemessung von torisphärischen und torikonischen Dächern sollte ein Beulen des Krempebereichs unter Innendruck ausschließen.

6.4 Betrachtungen für individuelle Tragwerksformen

6.4.1 Ungestütztes Dachtragwerk

- (1) Ungestützte Dächer sollten mit Stumpfstößen der Bleche oder mit Überlappstößen mit beidseitigen Kehlnähten ausgeführt werden.
- (2) Bei geschweißten Überlappstößen sollte die Verminderung des Beulwiderstandes und der plastischen Grenztragfähigkeit, die sich aus den Exzentrizitäten an der Verbindung ergibt, in dem Berechnungsmodell berücksichtigt werden.

6.4.2 Kegelförmiges oder kugelförmiges Dach mit Gespärre

6.4.2.1 Blechbemessung

- (1) Die Dachbleche dürfen nach der Theorie großer Verschiebungen berechnet werden.
- (2) Wenn ein Reißnahteffekt für das Dach gefordert wird, sollten die Dachbleche nicht mit dem innenliegenden Gespärre verbunden sein.

6.4.2.2 Bemessung der Unterstützungskonstruktion

- (1) Das Gespärre sollte den Bestimmungen von EN 1993-1-1 genügen.
- (2) Wenn die Dachbleche mit dem Gespärre verbunden sind, darf eine wirksame Breite dieser Bleche als Teil des Gespärres angesetzt werden. Diese wirksame Breite darf mit $16t$ angesetzt werden, sofern nicht ein größerer Wert durch eine Berechnung bestätigt wird.

(3) Bei Dächern mit Stützen sollte die Möglichkeit von Fundamentsetzungen besonders beachtet werden.

6.4.3 Dacheckring

(1) Der Dacheckring sollte für die gesamte vertikal nach unten gerichtete Last des Daches bemessen werden (Eigengewicht, Schnee, Verkehrslast und innerer Unterdruck).

(2) Der Dacheckring sollte den Bestimmungen von EN 1993-1-6 genügen. Wenn die in $\boxed{A_1}$ 7.1 $\boxed{A_1}$ (1) angegebenen Bedingungen erfüllt sind, kann das vereinfachte Bemessungsverfahren nach $\boxed{A_1}$ 7.2.5 $\boxed{A_1}$ angewendet werden.

(3) Wenn ein Reißnahteffekt für die Dachbemessung gefordert wird, sollte die Fläche A des Dacheckringes der folgenden Bedingung genügen:

$$\boxed{AC} A \geq \frac{W}{2\pi \tan \alpha f_{yd}} \boxed{AC} \quad (6.1)$$

Dabei ist

W das gesamte Gewicht der Schale und jeglicher Versteifung (außer Dachblechen), das durch den Mantel und das Dach unterstützt wird;

α der Winkel am Dacheckring zwischen Dach und Horizontalebene.

6.5 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

(1) Als Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit für Tankdächer sollten angenommen werden:

- Verformungen und Verschiebungen, die die effektive Verwendung des Tragwerkes nachteilig beeinflussen;
- Verformungen, Verschiebungen oder Schwingungen, die nicht-tragende Teile schädigen.

(2) Verformungen, Verschiebungen und Schwingungen sollten begrenzt werden, um den obigen Kriterien zu genügen.

(3) Spezifische Grenzwerte, die für den vorgesehenen Verwendungszweck geeignet sind, sollten zwischen dem Tragwerksplaner, dem Kunden und der zuständigen Behörde unter Berücksichtigung des vorgesehenen Verwendungszweckes und der Beschaffenheit des flüssigen Lagergutes vereinbart werden.

$\boxed{A_1}$ gestrichener Text $\boxed{A_1}$

$\boxed{A_1}$ gestrichener Text $\boxed{A_1}$

$\boxed{A_1}$ gestrichener Text $\boxed{A_1}$

7 Vereinfachte Bemessung

7.1 Allgemeines

(1) Die vereinfachte Bemessung dieses Abschnittes darf angewendet werden, wenn die folgenden Bedingungen alle eingehalten sind:

- das Tankbauwerk hat die in Bild 7.1 dargestellte Form;

- als innere Einwirkungen treten nur der Flüssigkeitsdruck und der Gasdruck über dem Flüssigkeitsspiegel auf;
- die maximale Auslegungsfüllhöhe liegt nicht über dem oberen Rand des zylindrischen Mantels;
- alle folgenden Lasten sind vernachlässigbar: Lasten infolge Wärmeeinwirkungen, Erdbebenlasten, Lasten infolge ungleichmäßiger Setzungen oder aus Anschlüssen und Lasten aus Störfällen;
- die Blechdicke eines Schusses ist nicht kleiner als die des über diesem liegenden Schusses – abgesehen von dem an den Dacheckring anschließenden Bereich;
- der Bemessungswert der Umfangsspannung im Tankmantel ist kleiner als 435 N/mm^2 ;
- der Krümmungsradius kugelförmiger Dächer liegt zwischen dem 0,8fachen und dem 1,5fachen des Tankdurchmessers;
- die Neigung freitragender kegelförmiger Tankdächer beträgt zwischen 1 : 5 und 1 : 3, wenn das Dach nur durch den Mantel (ohne innere Unterstützung) getragen wird;
- die planmäßige Neigung des Tankbodens ist nicht größer als 1 : 100;
- der Tankboden liegt gleichmäßig auf, oder er liegt auf Trägern auf, die mit geringem Abstand parallel angeordnet sind;
- der charakteristische Wert des Innendruckes liegt nicht unter $-8,5 \text{ mbar}$ und nicht über 60 mbar ;
- aufgrund der Anzahl der Lastwechsel besteht keine Gefahr eines Versagens durch Ermüdung.

(2) Als Bemessungswert für die Fließspannung sollte in diesem Abschnitt angenommen werden:

$$f_{y,d} = f_y / \gamma_{M0} \quad (7.1)$$

Dabei ist

f_y die charakteristische Streckgrenze für den Stahl;

γ_{M0} nach 2.9.2.2.

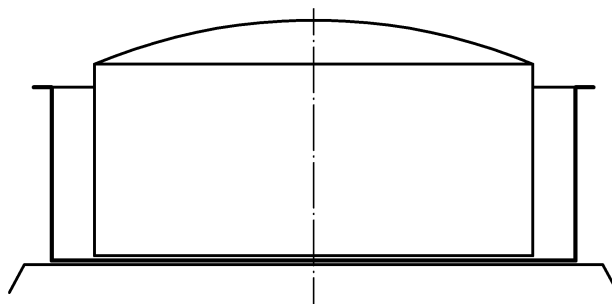


Bild 7.1 — Tankbauwerk mit Auffangtasse, bei dem die vereinfachte Bemessung anwendbar ist

7.2 Bemessung des Festdaches

7.2.1 Unversteifte Schale mit geschweißten Stumpfstoßen oder beidseitig verschweißten Überlappstoßen

(1) Wenn der örtlich auftretende maximale Bemessungswert der Flächenlast in (3) und (5) als Druckbelastung des Daches angesetzt wird, brauchen mögliche Ungleichförmigkeiten der Flächenlast nicht berücksichtigt zu werden.

(2) Bei Einwirkung von Einzellasten sollte eine gesonderte Bewertung nach $\boxed{A_1}$ Abschnitt 6 $\boxed{A_1}$ erfolgen.

(3) Die Tragfähigkeit des Daches unter der Einwirkung des Bemessungswertes $p_{o,Ed}$ des Innendruckes sollte nachgewiesen werden mit:

$$\frac{p_{o,Ed} R_s}{2t} \leq j \cdot f_{y,d} \text{ für kugelförmige Dächer} \quad (7.2)$$

$$\frac{p_{o,Ed} R_c}{t} \leq j \cdot f_{y,d} \text{ für kegelförmige Dächer} \quad (7.3)$$

Dabei ist

$$R_c = r / \sin \alpha \text{ für kegelförmige Dächer}$$

und

j Beiwert für die Wirksamkeit der Verbindung;

$p_{o,Ed}$ radial nach außen gerichtete Komponente der gleichförmig verteilten Bemessungslast des Daches (d. h. der charakteristische Wert multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert nach 2.9.2.1);

r der Radius des zylindrischen Tankmantels;

R_c der Krümmungsradius des kegelförmigen Daches;

R_s der Radius des kugelförmigen Daches;

t die Dicke der Dachbleche;

α die Neigung des kegelförmigen Daches gegen die Horizontale.

(4) Der Beiwert für die Wirksamkeit der Verbindung sollte angenommen werden mit:

$j = 1,00$ für stumpf gestoßene Bleche;

$j = 0,50$ für überlappt gestoßene Bleche mit Kehlnähten auf beiden Seiten.

(5) Die Stabilität eines kugelförmigen Daches unter der Einwirkung des Bemessungswertes $p_{i,Ed}$ des Außendruckes sollte nachgewiesen werden mit:

$$\boxed{AC} p_{i,Ed} \leq 0,05 \left\{ 1,25 E \left(\frac{t}{R_0} \right)^2 \right\} \boxed{AC} \quad (7.4)$$

Dabei ist

$$R_0 = R_s$$

und

$p_{i,Ed}$ die radial nach innen gerichtete Komponente der gleichförmig verteilten Bemessungslast des Daches (d. h. der charakteristische Wert multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert nach 2.9.2.1).

(6) Die Stabilität eines kegelförmigen Daches unter der Einwirkung des Bemessungswertes $p_{i,Ed}$ des Außendruckes sollte nach den Bestimmungen von EN 1993-4-1, 7.3 AC gestrichener Text AC nachgewiesen werden.

7.2.2 Selbsttragendes Dach mit Gespärre

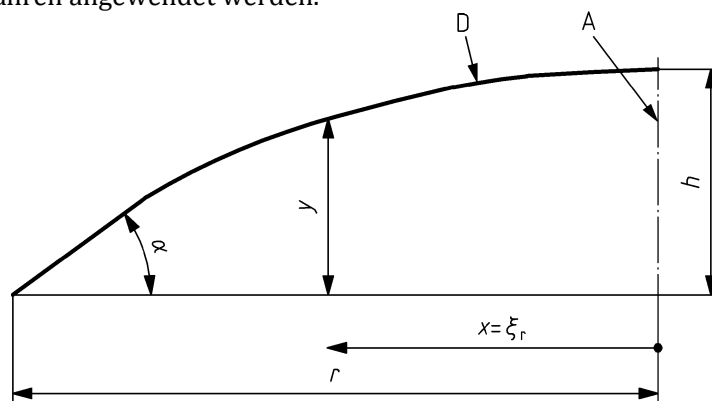
(1) Die spezifizierte Dicke aller Dachbleche sollte für nichtrostende Stähle nicht kleiner als 3 mm und für andere Stähle nicht kleiner als 5 mm sein.

(2) Das Gespärre sollte entweder ausgesteift (siehe 7.2.4) oder konstruktiv mit den Dachblechen verbunden sein.

(3) Die Dachbleche dürfen als Platten mit großen Durchbiegungen bemessen werden.

(4) Die Bemessung des Dachgespärres sollte den Anforderungen von EN 1993-1-1 genügen.

(5) Wenn der Durchmesser des Tanks kleiner als 60 m ist und die Verteilung der Flächenlast nicht stark von einer um die Tankachse symmetrischen Anordnung abweicht, darf für kugelförmige Dächer das in (6) bis (10) beschriebene Verfahren angewendet werden.



Legende

D Dachprofil
 A Tankachse

Bild 7.2 — Koordinaten eines kugelförmigen Tankdaches

(6) Bei kugelförmigen Dächern unter der Einwirkung von Flächenlasten infolge Verkehr, Schnee, Wind, ständiger Last und Druck sollte die größte Vertikalkomponente als nach oben oder unten wirkender Bemessungswert $p_{v,Ed}$ angenommen werden, wobei $p_{v,Ed}$ negativ anzusetzen ist, wenn $p_{v,Ed}$ nach oben wirkt. Der Bemessungswert der gesamten Vertikalkraft je Sparren sollte angesetzt werden mit

$$p_{Ed} = \beta r^2 p_{v,Ed} \quad (7.5)$$

Dabei ist

$$\beta = \pi/n$$

und

n die Anzahl der Sparren;

r der Radius des Tanks;

$p_{v,Ed}$ die größte Vertikalkomponente des Bemessungswertes der Flächenlast (siehe Anhang A) einschließlich Eigengewicht des Gespärres (nach unten positiv);

P_{Ed} der Bemessungswert der gesamten Vertikalkraft je Sparren.

(7) Die Normalkraft N_{Ed} und das Biegemoment M_{Ed} je Sparren dürfen für die Bemessung nach EN 1993-1-1 ermittelt werden mit:

$$N_{Ed} = 0,375 \frac{r}{h} P_{Ed} \quad (7.6)$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{3} \left(\frac{r}{1-\varepsilon} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{x}{r} \right)^3 - 1,10 \left(\frac{y}{h} \right) \right\} P_{Ed} \quad (7.7)$$

wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$\boxed{\text{AC}} \quad p_{v,Ed} \leq 1,2 \text{ kN/m}^2 \quad \boxed{\text{AC}} \quad (7.8)$$

$$\boxed{\text{AC}} \quad I_y \geq \frac{N_{Ed} \cdot r^2}{\pi^2 E} \quad \boxed{\text{AC}} \quad (7.9)$$

$$b_K \geq 2 h_K \quad (7.10)$$

$$A_1 \geq A_2 \quad (7.11)$$

$$h_K^2 \left(\frac{A_1 A_2}{A_1 + A_2} \right) \geq \frac{I_y}{2\beta} \quad (7.12)$$

Dabei ist

$$\varepsilon = N_{Ed} \frac{(0,6 r)^2}{\pi^2 E I_y} \quad (7.13)$$

und

h der Stich des Tankdaches, siehe Bild 7.2;

x der radiale Abstand von der Tankachse, siehe Bild 7.2;

y die vertikale Höhe des Daches bei der Koordinate x , siehe Bild 7.2;

b_K die Gurtbreite des Kronenringes, siehe Bild 7.3;

h_K der vertikale Abstand der Gurte des Kronenringes, siehe Bild 7.3;

A_1 die Fläche des Obergurtes des Kronenringes, siehe Bild 7.3;

A_2 die Fläche des Untergurtes des Kronenringes, siehe Bild 7.3;

I_y das Trägheitsmoment des Sparrens um die horizontale Achse.

(8) Wenn das Trägheitsmoment I_y des Sparrens längs der Sparrenachse veränderlich ist (z. B. infolge veränderlicher mittragender Breite der Dachbleche, wenn sie mit den Sparren verbunden sind), darf der Wert von I_y im Abstand $0,5r$ von der Tankachse in (7) verwendet werden.

(9) Wenn die Bedingungen in (7) erfüllt sind, darf sich der Nachweis für den Kronenring auf eine Überprüfung des Untergurtes nach (10) beschränken.

(10) Wenn wenigstens zehn gleichmäßig über den Umfang verteilte Sparren vorhanden sind, dürfen die Bemessungswerte von Schnittkraft $N_{r,Ed}$ und Biegemoment $M_{r,Ed}$ des Kronenringes berechnet werden mit:

$$N_{r,Ed} = \frac{N_{2,Ed}}{2\beta} \quad (7.14)$$

$$M_{r,Ed} = \frac{r_k \beta N_{2,Ed}}{2(3 + \beta)^2} \quad (7.15)$$

Dabei ist

$$N_{2,Ed} = \frac{N_{Ed} e_o}{h_k} + \frac{M_{Ed}}{h_k} \quad (7.16)$$

und:

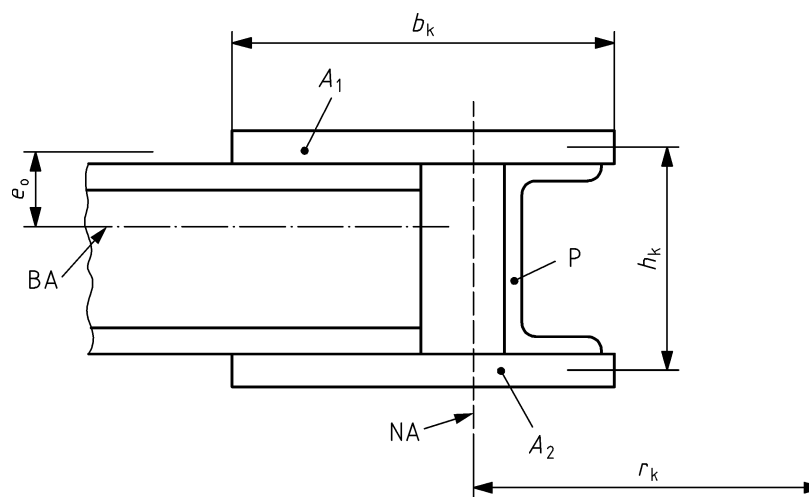
$N_{2,Ed}$ der Bemessungswert der Kraft im Untergurt des Kronenringes;

N_{Ed} der Bemessungswert der Kraft im Sparren;

M_{Ed} der Bemessungswert des Biegemomentes im Sparren an seinem inneren Ende;

e_o die vertikale Exzentrizität der Schwerlinie des Sparrens zum Obergurt des Kronenringes, siehe Bild 7.3;

r_k der Radius der Schwerlinie des Kronenringes, siehe Bild 7.3.



Legende

P Abstandsprofil

BA Achse des Sparrens

A Tankachse

NA Schwerlinie von A_1 und A_2 für Biegung in der Ebene der Bleche

Bild 7.3 — Kronenring

7.2.3 Dach auf Stützen

- (1) Die spezifizierete Dicke aller Dachbleche sollte für nichtrostende Stähle nicht kleiner als 3 mm und für andere Stähle nicht kleiner als 5 mm sein.
- (2) Die Dachbleche dürfen als Platten mit großen Durchbiegungen bemessen werden.
- (3) Die Bemessung des Dachgespärres sollte den Anforderungen von EN 1993-1-1 genügen.

7.2.4 Verbände

- (1) Wenn die Dachbleche nicht mit den Sparren verbunden sind, sollten Verbände angeordnet werden.
- (2) Bei Dächern, deren Durchmesser größer als 15 m ist, sollten wenigstens zwei Verbände vorgesehen werden (d. h. zwei Paare benachbarter Sparren, die durch Füllstäbe verbunden sind). Die Verbände sollten gleichmäßig über den Tankumfang angeordnet sein.
- (3) Bei ausgesteiften Dächern, deren Durchmesser zwischen 15 m und 25 m beträgt, sollte zusätzlich ein Umfangsring vorgesehen werden. Bei ausgesteiften Dächern, deren Durchmesser größer als 25 m ist, sollten zusätzlich zwei Umfangsringe vorgesehen werden.
- (4) Die Verbände sollten für eine Abtriebskraft bemessen werden, die 1 % der Summe der Normalkräfte in den stabilisierten Bauteilen beträgt.

7.2.5 Dacheckring

- (1) Der Nachweis für die Kraft im wirksamen Dacheckring (Fläche an der Verbindung des Daches mit dem Mantel) sollte erfolgen mit:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \leq f_{y,d} \quad (7.17)$$

Dabei ist

$$N_{Ed} = \frac{p_{v,Ed} r^2}{2 \tan \alpha} \quad (7.18)$$

und

A_{eff} die wirksame Fläche des Dacheckringes nach Bild 7.4;

α die Neigung des Daches an der Verbindung gegen die Horizontale;

$p_{v,Ed}$ die größte Vertikalkomponente des Bemessungswertes der Flächenlast einschließlich Eigengewicht des Dachgespärres (nach unten positiv).

- (2) Wenn der Abstand benachbarter Sparrenanschlusspunkte am Dacheckring nicht größer als 3,25 m ist, braucht die Stabilität des Dacheckringes nicht nachgewiesen zu werden.
- (3) Wenn die Flächenlast mit dem Bemessungswert $p_{v,Ed}$ nach oben wirkt, darf das Biegemoment im Dacheckring unberücksichtigt bleiben.
- (4) Wenn der Abstand benachbarter Sparrenanschlusspunkte am Dacheckring nicht größer als 3,25 m ist und die Flächenlast mit dem Bemessungswert $p_{v,Ed}$ nach unten wirkt, darf das Biegemoment im Dacheckring unberücksichtigt bleiben.

(5) Wenn der Abstand benachbarter Sparrenanschlusspunkte am Dacheckring größer als 3,25 m ist, sollte zusätzlich zur Normalkraft N_{Ed} im Dacheckring das Biegemoment des Dacheckringes um seine vertikale Achse berücksichtigt werden. Das Biegemoment des Dacheckringes (positive Werte erzeugen Zugspannungen an seiner Innenseite) sollte mit folgenden Ausdrücken ermittelt werden.

Am Anschluss der Sparren:

$$M_{s,Ed} = - \left(\frac{p_{v,Ed} r^3}{2 \tan \alpha} \right) \left(1 - \frac{\beta}{\tan \beta} \right) \quad (7.19)$$

In der Feldmitte zwischen den Sparren:

$$M_{F,Ed} = - \left(\frac{p_{v,Ed} r^3}{2 \tan \alpha} \right) \left(\frac{\beta}{\sin \beta} - 1 \right) \quad (7.20)$$

ANMERKUNG Wenn $p_{v,Ed}$ nach oben wirkt, wird der Wert negativ angesetzt und damit bei allen Normalkräften und Biegemomenten ein Vorzeichenwechsel bewirkt.

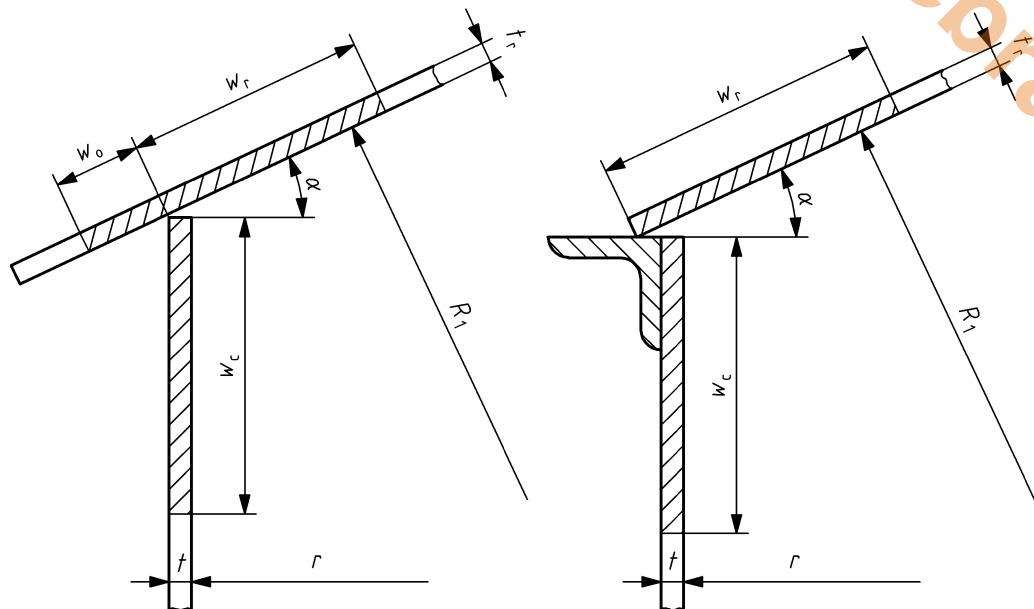


Bild 7.4 — Dacheckring

7.3 Bemessung des Mantels

7.3.1 Mantelbleche

(1) In jedem Mantelschuss sollte für die Umfangsnormalspannung infolge Flüssigkeitsdruck und Innendruck nachgewiesen werden:

$$[\gamma_F \rho g H_{red} + p_{Ed}] \cdot \left(\frac{r}{t} \right) \leq f_{y,d} \quad (7.21)$$

wobei der mit $H_{red,j}$ bezeichnete Wert von H_{red} für den Schuss j entsprechend seinem Verhältnis zu dem darunter liegenden Schuss ($j - 1$) bestimmt wird:

$$H_{\text{red},j} = H_j - \Delta H \text{ wenn gilt: } \frac{H_{\text{red},j-1}}{f_{\text{yd},j-1}} \geq \frac{H_{\text{red},j}}{f_{\text{yd},j}} \quad (7.22)$$

$$H_{\text{red},j} = H_j \text{ wenn gilt: } \frac{H_{\text{red},j-1}}{f_{\text{yd},j-1}} < \frac{H_{\text{red},j}}{f_{\text{yd},j}} \quad (7.23)$$

Dabei ist

$$\Delta H = 0,30 \text{ m}$$

und

ρ die Dichte der Flüssigkeitsfüllung;

g die Erdbeschleunigung;

H_j der vertikale Abstand des unteren Randes des Mantelschusses j vom Flüssigkeitsspiegel;

p_{Ed} der Bemessungswert des Druckes über dem Flüssigkeitsspiegel (d. h. charakteristischer Wert multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert nach **AC** 2.9.2.1 **AC**).

7.3.2 Ringsteifen

(1) Für Festdachtanks mit Gespärre darf von einer ausreichenden Aussteifung durch das Gespärre am oberen Rand des Mantels ausgegangen werden. Ein Ringträger ist nicht erforderlich.

(2) Oben offene Tanks sollten mit einem Ringträger versehen sein, der an oder nahe dem oberen Ende des obersten Schusses angebracht ist.

(3) Falls der untere Rand des Tankmantels, um vertikalen Verschiebungen standzuhalten, wirksam verankert ist, darf der Ringträger so bemessen werden, dass die in den Abschnitten (12) bis (14) in 5.3.2.5 von EN 1993-4-1 angegebenen Anforderungen sowohl an die Tragfähigkeit als auch an die Steifigkeit erfüllt werden.

(4) Falls der untere Rand des Tankmantels nicht wirksam verankert ist, sollte ein Beulnachweis nach EN 1993-1-6 durchgeführt werden.

(5) Wenn die Ringsteifen in einem Abstand von mehr als 600 mm unter dem oberen Rand des Tankmantels angeordnet sind, sollte an dem Tank ein oberer Randwinkel folgender Größe angebracht werden:

- $60 \times 60 \times 5$ wenn die Dicke des obersten Mantelschusses geringer als 6 mm ist;
- $80 \times 80 \times 6$ wenn die Dicke des obersten Mantelschusses 6 mm oder mehr beträgt.

Bei jedem der beiden Winkelprofile sollte der horizontale Schenkel nicht mehr als 25 mm unter dem oberen Rand des Tankmantels liegen.

(6) Die Anforderung an eine Ringsteife, mit der örtliches Beulen des Mantels ausgeschlossen wird, sollte mit dem folgenden Verfahren untersucht werden. Die Höhe, über die der unversteifte Mantel beulen kann (vom oberen Rand der Schale oder dem Ringträger abwärts gemessen), sollte ermittelt werden aus:

$$H_E = \sum h \cdot \left(\frac{t_{\text{min}}}{t} \right)^{2,5} \quad (7.24)$$

Dabei ist

- h die Höhe jedes Schusses in Folge unter dem Dacheckring oder dem Ringträger;
- t die Dicke eines jeden Schusses in Folge;
- t_{\min} die Dicke des dünnsten Schusses.

(7) Die Höhe, die ohne eine Ringsteife als stabil angesetzt werden kann, sollte aus:

$$H_p = 0,46 \left(\frac{E}{p_{Ed}} \right) \left(\frac{t_{\min}}{r} \right)^{2,5} r K \quad (7.25)$$

bestimmt werden, wobei gilt:

$$K = 1, \text{ wenn die Axialspannung } \sigma_{x,Ed} \text{ Zug ist} \quad (7.26)$$

$$K = \left\{ 1 - \left[2,67 \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{E} \right) \left(\frac{r}{t} \right) \left(1 + \frac{1}{54} \left(\frac{r}{t} \right)^{0,72} \right)^{1,25} \right]^{0,8} \right\}, \text{ wenn die Axialspannung Druck ist} \quad (7.27)$$

wobei p_{Ed} der größte Bemessungswert der nach innen gerichteten Komponente des Druckes auf den Tankmantel ist (Druck auf der Außenseite, negativer Druck auf der Innenseite) und (r/t) für die gleiche Stelle angesetzt wird wie der Bemessungswert $\sigma_{x,Ed}$ der axialen Druckmembranspannung.

ANMERKUNG Die oben angegebenen Gleichungen können mitunter zu sehr konservativen Ergebnissen führen (besonders bei sehr kurzen Schüssen). Um eine wirtschaftlichere Bemessung zu ermöglichen, können stets die Bestimmungen von EN 1993-1-6 angewendet werden.

(8) Der aus der äußeren Windlast auf zylindrische Körper wirkende, ungleichmäßig verteilte Druck $q_{w,Ed}$ (siehe Bild 7.5) darf zur Beulberechnung des Tanks durch den folgenden äquivalenten Außendruck ersetzt werden:

$$q_{eq,Ed} = k_w q_{w,max,Ed} \quad (7.28)$$

Dabei ist $q_{w,max,Ed}$ der größte Winddruck, und k_w sollte bestimmt werden aus:

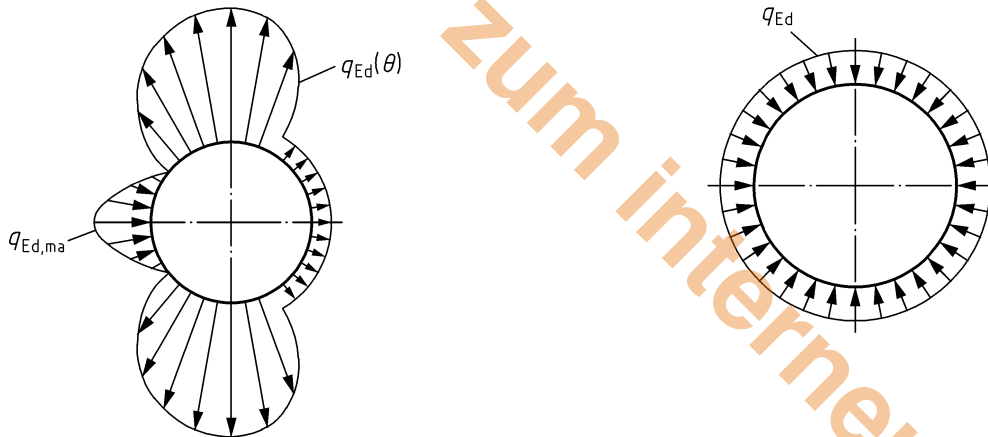
$$k_w = 1/C_w \quad (7.29)$$

mit C_w nach Absatz (8) in 5.3.2.5 von EN 1993-4-1.

(9) Der in Gleichung (7.25) einzusetzende Druck p_{Ed} ergibt sich aus:

$$p_{Ed} = q_{eq,Ed} + q_{s,Ed} \quad (7.30)$$

Dabei ist $q_{s,Ed}$ der innere Sog, der durch Belüftung, Teilvakuum oder andere Erscheinungen verursacht wird.



a) Winddruckverteilung am Umfang des Tankmantels

b) Äquivalente rotationssymmetrische Druckverteilung

Bild 7.5 — Transformation einer typischen Wind-Außendruckverteilung

(10) Das in (7) dargelegte Verfahren sollte nicht angewendet werden, wenn die Axialspannung eine Druckspannung ist, es sei denn, dass die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$\frac{r}{t} \geq 200 \quad (7.31)$$

$$f_y \geq 1,15 E \left(\frac{r}{l} \right) \left(\frac{t}{r} \right)^{1,5} \quad (7.32)$$

Dabei ist

l die Höhe der Beule. Sie wird aus H_E oder dem Abstand zwischen benachbarten Ringsteifen bestimmt, wobei der jeweils kleinere Wert gilt.

(11) Wenn $H_E \leq H_p$ ist, ist keine Zwischenringsteife erforderlich.

(12) Wenn $H_E > H_p$ ist, sollte H_E durch Ringsteifen unterteilt werden, um ein Beulen der Tankwand zu verhindern. Diese sollten in Abständen von nicht mehr als H_p angeordnet werden. Wird mehr als eine Ringsteife benötigt, darf K für jeden Abschnitt zwischen den Ringsteifen getrennt berechnet werden, so dass sich nach (7) unterschiedliche Abstände H_p zwischen den Ringsteifen ergeben.

(13) Wenn die Dicke eines Schusses, mit dem eine untere Ringsteife verbunden ist, größer ist als die kleinste Wanddicke t_{\min} , sollte folgende Korrektur vorgenommen werden. Dafür sollte der Abstand $H_{\text{lower,adj}}$ in dem eine untere Ringsteife unterhalb des Dacheckringes oder der Hauptringsteife angeordnet sein sollte, ermittelt werden mit:

$$H_{\text{lower,adj}} = H_{\text{tmin}} + (H_{\text{lower}} - H_{\text{tmin}}) \left(\frac{t}{t_{\min}} \right)^{2,5} \quad (7.33)$$

Dabei ist:

H_{lower} der Abstand vom Dacheckring oder der Hauptringsteife zu der zu korrigierenden Lage der Zwischenringsteife;

H_{tmin} der Abstand vom Dacheckring oder der Hauptringsteife zum unteren Rand der Mantelschüsse mit Wanddicke t_{min} .

(14) Zwischenringsteifen sollten nicht in einem Abstand von weniger als 150 mm zur Rundnaht des Tankmantels angeordnet sein.

☐ (15) Zur Bestimmung der geforderten Größe einer oder mehrerer Zwischenringsteife(n) sollte ein geeignetes Verfahren angewendet werden.

(16) Es kann hilfreich sein, die Festlegungen von EN 1993-1-6:2007, 8.7, unter Verwendung der linearen elastischen Verzweigungs-(eigenwert)-Berechnung (LBA) sowie der materiell nichtlineare Berechnung (MNA) anzuwenden, um den kritischen Elastizitätsmodul und den kritischen Beuldruck zu ermitteln und den plastischen Referenzdruck für die beabsichtigte Bemessung der Ringsteife abzuschätzen.

ANMERKUNG Es wird darauf hingewiesen, dass ein Wert von R_{cr} größer als 2 typischerweise die Anforderungen einer vollständigeren Berechnung erfüllt. ☐

(17) Sofern nach EN 1993-1-6 kein umfassenderer Nachweis durchgeführt wird, sollten die Zwischenringsteifen die folgende Steifigkeitsanforderung erfüllen

$$I_{\text{Rj}} \geq 2 \frac{N_{\text{Rj,Ed}} r^2}{E m_{\text{B}}^2} \quad (7.34)$$

mit

$$N_{\text{Rj,Ed}} = \frac{p_{\text{j,Ed}} r (a_{\text{j}+1} + a_{\text{j}})}{2} \quad (7.35)$$

$$m_{\text{B}}^* = 1,79 \left\{ \frac{r}{H \left[\frac{r^2 \min(a_{\text{j}} t_{\text{j}})}{\max(I_{\text{Rj}})} \right]^{1/4}} \right\}^{1/2} \quad (7.36)$$

Dabei ist

m_{B} = die zu m_{B}^* nächstkleinere ganze Zahl;

I_{Rj} das Trägheitsmoment der Zwischenringsteife j ;

$\max I_{\text{Rj}}$ der maximale Wert für I_{Rj} für alle Zwischenringsteifen;

H die Höhe der Hauptringsteife oder des Dacheckrings über der Bodenkante;

a_{j} der Abstand von der Zwischenringsteife j zur nächsten darunter liegenden Zwischenringsteife oder zur Bodenkante, wenn es keine weiter unten angeordnete Zwischenringsteife gibt;

$a_{\text{j}+1}$ der Abstand von der Zwischenringsteife j zur nächsten darüber liegenden Zwischenringsteife oder zur Hauptringsteife oder dem Dacheckring, wenn es keine weiter oben angeordnete Zwischenringsteife gibt;

t_{j} der Mittelwert für die Manteldicke über den Abstand a_{j} ;

$\min(a_{\text{j}} t_{\text{j}})$ der Mindestwert für $a_{\text{j}} t_{\text{j}}$ entlang der Höhe H ;

r der Radius des Tankmantels;

$p_{\text{j,Ed}}$ der Bemessungswert für den Unterdruck an der Zwischenringsteife j .

7.3.3 Öffnungen

(1) Öffnungen und Anbauteile sollten nach 5.4.6 bemessen werden.

7.4 Bemessung des Bodens

- (1) Bei der Bemessung der Bodenbleche sollte die Korrosion berücksichtigt werden.
- (2) Bodenbleche sollten überlappt oder stumpf gestoßen verschweißt werden. Einzelheiten zum Schweißen sind je nach Gültigkeit EN 14015 oder EN 14620 zu entnehmen.
- (3) Die spezifizierte Dicke, ausschließlich Korrosionszuschlag, der Bodenbleche sollte die Werte in Tabelle 7.1 nicht unterschreiten. Größere Werte sollten verwendet werden, wenn dies zur Vermeidung eines Abhebens infolge inneren Unterdruckes erforderlich ist, sofern nicht eine garantierte verbleibende Mindestfüllhöhe verwendet wird, die zur Verhinderung dieses Abhebens beiträgt.

Tabelle 7.1 — Mindestwerte der Bodenblech-Nettdicke

Werkstoff	überlappt verschweißte Bodenbleche	Stumpf verschweißte Bodenbleche
unlegierte Stähle	6 mm	5 mm
nichtrostende Stähle	5 mm	3 mm

(4) Bodenbleche, die durch parallele Träger (erhöhte Böden) unterstützt werden, dürfen als Durchlaufträger nach der Theorie kleiner Durchbiegungen bemessen werden. Wenn die Querschnittsverformung der unterstützenden Träger infolge der Querlast vernachlässigbar ist (z. B. Betonquerschnitte, Hohlprofile, Träger mit dicken Flanschen), darf für die Spannweite des Durchlaufträgers, der das Blech darstellt, der Abstand benachbarter Ränder dieser unterstützenden Bauteile anstelle des Abstandes der Mittellinien der unterstützenden Bauteile angesetzt werden.

(5) Böden für Tanks mit einem Durchmesser von mehr als 12,5 m sollten mit einem umlaufenden Ringblech (in Form eines Bodenrandbleches) versehen sein, der den Festigkeits- und Zähigkeitsanforderungen an das Mantelblech, mit dem die Böden verbunden sind, genügt. Das Ringblech sollte mindestens eine Nennwanddicke t_a ohne Korrosionszuschlag haben, die sich ergibt aus:

$$t_a = t_s/3 + 3 \text{ mm, aber nicht kleiner als 6 mm} \quad (7.37)$$

dabei ist

t_s die Dicke des anschließenden Mantelschusses.

ANMERKUNG 1 Diese Mindestdicke kann im Bodenrandblech dazu führen, dass sich ein plastisches Scharnierband bildet, wodurch an der Schweißnaht zwischen Boden und Schalenwand wechselndes Plastizieren vermieden wird. Es sollte jedoch angemerkt werden, dass diese Mindestdicke des Bodenblechs auch zum Abheben des Außenrandes des Bodenrandbleches mit später möglicher Korrosion führen kann.

ANMERKUNG 2 Wenn in der Schale des Tanks Axialkräfte auftreten, muss das Bodenrandblech so bemessen werden, dass diese Axialkräfte in das Fundament abgeleitet werden.

(6) Die Breite w des Innenteils des Bodenrandbleches sollte nicht kleiner sein als der Grenzwert w_{ar} , der sich ergibt aus:

$$w_a = 1,5 \left[\frac{f_y \cdot t_a^2}{p \cdot g \cdot H} \right]^{1/2}, \text{ aber nicht kleiner als 500 mm} \quad (7.38)$$

Dabei ist

- H die größte der Bemessung zugrunde gelegte Höhe der Flüssigkeitsfüllung;
- w_a die kleinste innere Bodenblechbreite (Abstand vom Innenrand des Bodenrandbleches zum inneren Rand des Mantelbleches);
- t_a die Dicke des Bodenrandbleches, unter Berücksichtigung des Korrosionszuschlages;
- ρ die Dichte der Flüssigkeitsfüllung;
- g die Erdbeschleunigung.

(7) Die radialen Schweißnähte, die die Bodenrandbleche miteinander verbinden, sollten voll durchgeschweißte Stumpfnähte sein. Einzelheiten zum Schweißen sind je nach Gültigkeit EN 14015 oder EN 14620 zu entnehmen.

(8) Der Abstand von der Außenkante des Mantelbleches zum äußeren Rand des Bodenbleches oder des Bodenrandbleches am Bodenring sollte nicht kleiner als 50 mm sein.

(9) Der Anschluss des untersten Mantelschusses an das Bodenrandblech oder die äußersten Bodenbleche sollte mit durchlaufenden Kehlnähten beiderseits des Mantelbleches erfolgen.

(10) Das Wurzelmaß jeder Kehlnaht sollte größer oder gleich der Dicke der Bodenrandbleche oder der äußersten Bodenbleche sein, jedoch sollte es 10 mm nicht überschreiten, und wenn die Dicke des Mantelbleches kleiner ist als die Dicke der Bodenrandbleche oder der äußersten Bodenbleche, sollte es die entsprechenden Werte in Tabelle 11.2 nicht überschreiten.

Tabelle 7.2 — Wurzelmaß der Kehlnähte, wenn das Mantelblech dünner ist als Bodenrandblech oder die äußersten Bodenbleche

Dicke des Mantelbleches, t	Wurzelmaß der Kehlnähte
$t < 5$ mm	2,0 mm
$t = 5$ mm	4,5 mm
$t > 5$ mm	6,0 mm

7.5 Bemessung der Verankerung

(1) Bei Festdachtanks sollte eine Verankerung vorgesehen werden, wenn eine der folgenden Bedingungen ein Abheben der zylindrischen Tankwand und des benachbarten Bodenbleches von der Gründung verursachen kann:

- a) Abheben des leeren Tanks infolge des Bemessungswertes des Innendruckes bei entgegenwirkendem tatsächlichem Gewicht im korrodierten Zustand von Dach, Mantel und ständig vorhandenen Anbauteilen;
- b) Abheben infolge des Bemessungswertes des Innendruckes und der Windlasten bei entgegenwirkendem tatsächlichem Gewicht im korrodierten Zustand von Dach, Mantel und ständig vorhandenen Anbauteilen

und wirksamem Gewicht des Lagergutes, das nach Vereinbarung zwischen Tragwerksplaner, Besteller und zuständiger Behörde stets im Tank vorhanden ist;

- c) Abheben des leeren Tanks infolge Windlast bei entgegenwirkendem tatsächlichem Gewicht im korrodierten Zustand von Dach, Mantel und ständig vorhandenen Anbauteilen;
- d) Abheben des leeren Tanks infolge durch Fluten verursachter äußerer Flüssigkeitseinwirkung. In diesen Fällen ist es erforderlich, die Auswirkungen auf den Tankboden, den Tankmantel usw. ebenso zu betrachten wie die Bemessung der Verankerung.

Für diese Überprüfung dürfen die abhebenden Kräfte infolge der Windlast unter der Annahme berechnet werden, dass der Tankmantel einen starren Querschnitt hat (Balkentheorie). Diese Annahme hat zur Folge, dass ein örtliches Abheben auftreten kann. Wenn kein örtliches Abheben zugelassen werden kann, ist eine genauere Berechnung erforderlich.

(2) Die Verankerungen sollten soweit möglich in gleichmäßigen Abständen längs des Tankumfanges angeordnet werden.

(3) Die Bemessung der Ankerschrauben oder -bänder sollte den Anforderungen von EN 1993-1-1 genügen. Die Querschnittsfläche der Ankerschrauben oder -bänder sollte mindestens 500 mm^2 betragen. Wenn Korrosion zu erwarten ist, sollte ein Korrosionszuschlag von mindestens 1 mm hinzugefügt werden.

(4) Die Verankerung sollte in erster Linie am Tankmantel angeschlossen werden. Sie sollte nicht am Bodenblech allein angeschlossen werden.

(5) Die Auslegung der Verankerung sollte Bewegungen des Tanks infolge von Temperaturänderungen und hydrostatischem Druck ermöglichen und die Einleitung jeglicher Spannungen in den Tankmantel auf ein Minimum beschränken.

(6) Die Bemessung des Tankmantels für örtliche Ankerkräfte und Biegemomente aus der Verankerung sollte den Anforderungen von EN 1993-4-1, 5.4.6 und 5.4.7 genügen.

(7) Die Ankerbolzen oder -bänder sollten nicht vorgespannt werden, damit sichergestellt ist, dass sie nur wirksam werden, wenn eine abhebende Kraft im Tankmantel entsteht.

ANMERKUNG Wenn die Ankerbolzen oder -bänder nicht vorgespannt werden, werden die in ihnen wirksamen größten abhebenden Kräfte unter Windlast vermindert, so dass die in (1) beschriebene Berechnung anwendbar wird. Zudem werden die durch die Behinderung radialer Bewegungen infolge von Temperaturänderungen und hydrostatischem Druck eingeleiteten Spannungen vermindert.

Anhang A (normativ)

Einwirkungen auf Tankbauwerke

A.1 Allgemeines

- (1) Die Bemessung sollte die charakteristischen Werte der in A.2.1 bis A.2.14 aufgeführten Einwirkungen berücksichtigen.
- (2) Die Teilsicherheitsbeiwerte nach 2.9.2.1 für die Einwirkungen ~~(A₁) gestrichener Text (A₁)~~ sollten auf diese charakteristischen Werte angewendet werden.

A.2 Einwirkungen

A.2.1 Lasten infolge der Flüssigkeitsfüllung

- (1) Für den Betriebszustand sollte als Füllbelastung das Gewicht des Lagergutes bis zur maximalen Auslegungsfüllhöhe angesetzt werden.
- (2) Für die Probelastung sollte als Füllbelastung das Gewicht des Prüfmediums bis zur maximalen Füllhöhe bei der Probelastung angesetzt werden.

A.2.2 Lasten infolge des Innendruckes

- (1) Im Betriebszustand sollte als Innendruckbelastung die Belastung infolge der spezifizierten Maximal- und Minimalwerte des Innendruckes angesetzt werden.
- (2) Für die Probelastung sollte als Innendruckbelastung die Belastung infolge der spezifizierten Maximal- und Minimalwerte des Prüfdruckes angesetzt werden.

A.2.3 Lasten infolge Wärmeeinwirkungen

- (1) Spannungen infolge behinderter Wärmeausdehnung dürfen unbeachtet bleiben, wenn die Anzahl der Lastwechsel infolge behinderter Wärmeausdehnung so gering ist, dass keine Gefahr eines Versagens durch Ermüdung oder zyklische Plastizierung besteht.

A.2.4 Eigengewichtslasten

- (1) Als Eigengewichtslasten für das Tankbauwerk sollten die Gewichte aller Bauteile des Tanks und der ständig mit ihm verbundenen Anbauteile betrachtet werden.
- (2) Die Zahlenwerte sollten EN 1991-1-1 entnommen werden.

A.2.5 Lasten infolge Isolierung

- (1) Als Lasten infolge Isolierung sollten die aus dem Gewicht der Isolierung betrachtet werden.
- (2) Die Zahlenwerte sollten EN 1991-1-1 entnommen werden.

A.2.6 Verteilte Verkehrslast

(1) Die verteilte Verkehrslast sollte, sofern nichts anderes festgelegt ist, aus EN 1991-1-1 entnommen werden.

A.2.7 Konzentrierte Verkehrslast

(1) Die konzentrierte Verkehrslast sollte, sofern nichts anderes festgelegt ist, aus EN 1991-1-1 entnommen werden.

A.2.8 Schnee

(1) Die Lasten sollten aus EN 1991-1-3 entnommen werden.

A.2.9 Wind

(1) Die Lasten sollten aus EN 1991-1-4 entnommen werden.

(2) Zusätzlich dürfen die folgenden Druckbeiwerte für kreiszylindrische Tankbauwerke verwendet werden, siehe Bild A.1:

- a) Innendruck von oben offenen Tanks und Auffangtassen: $c_p = -0,6$.
- b) Innendruck von belüfteten Tanks mit kleinen Öffnungen: $c_p = -0,4$.
- c) bei Vorhandensein einer Auffangtasse kann für den Außendruck auf den Tankmantel eine lineare Abnahme mit der Höhe angenommen werden.

(3) Für Montagezustände dürfen wegen ihrer zeitlichen Befristung verminderte Windlasten nach EN 1991-1-4 angesetzt werden.

A.2.10 Unterdruck infolge unzureichender Belüftung

(1) Die Lasten sollten aus EN 1991-1-4 entnommen werden.

A.2.11 Erdbebenlasten

(1) Die Lasten sollten aus EN 1998-4 entnommen werden, wo auch die Anforderungen an die Erdbebenbemessung dargestellt sind.

A.2.12 Lasten aus Anschlüssen

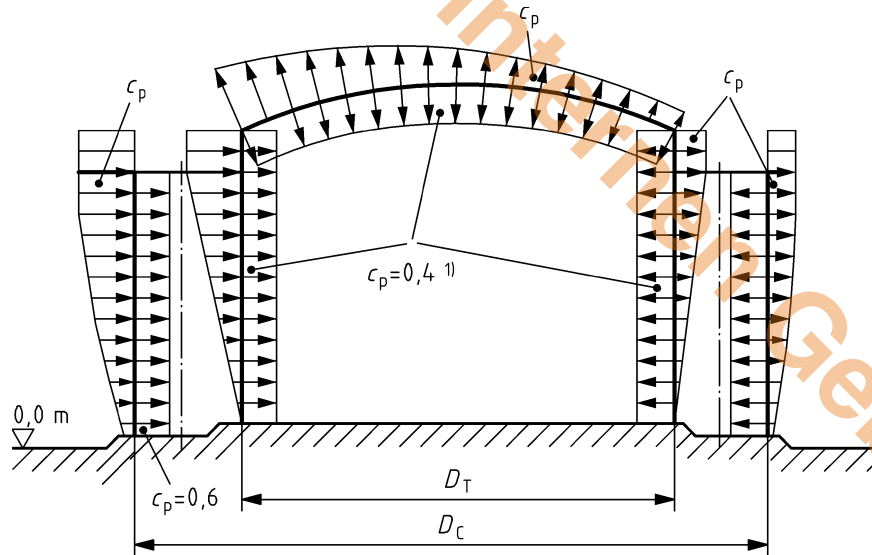
(1) Lasten infolge von Rohrleitungen, Ventilen und anderen Gegenständen, die an den Tank angeschlossen sind, und Lasten infolge der Setzung von unabhängigen Rohrauflagern gegenüber dem Tankfundament sollten berücksichtigt werden. Rohrleitungen sollten so ausgelegt werden, dass die Belastung des Tanks auf ein Minimum beschränkt wird.

A.2.13 Lasten infolge ungleichmäßiger Setzungen

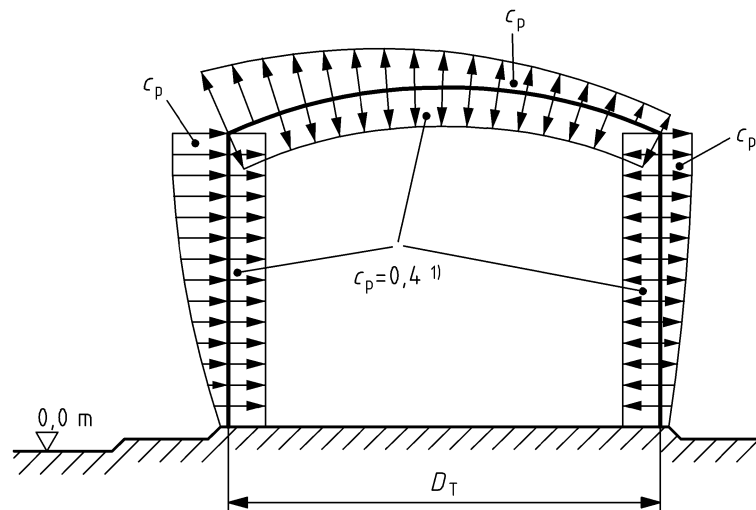
(1) Lasten infolge Setzungen sollten berücksichtigt werden, wenn ungleichmäßige Setzungen während der Lebensdauer des Tanks erwartet werden können.

A.2.14 Störfalllasten

(1) Die Lasten sollten für die besondere Situation festgelegt werden und können Lasten infolge äußerer Detonation, Stoß, benachbarter Brand außerhalb des Tanks, Explosion, Leckage des inneren Tanks, Rollover oder Überfüllung des inneren Tanks einschließen.



a) Tank mit Auffangtasse



b) Tank ohne Auffangtasse

Legende

D_T Durchmesser des Tanks

D_C Durchmesser der Auffangtasse

- 1) $c_p = 0,4$ gilt nur für belüftete Tanks; wenn für c_p keine Zahlenwerte angegeben werden, sind diese Werte EN 1991-1-4 zu entnehmen.

Bild A.1 — Druckbeiwerte für die Windbelastung kreiszylindrischer Tankbauwerke