

**DIN EN 14025**

ICS 13.300; 23.020.20

Ersatz für  
DIN EN 14025:2004-02 und  
DIN EN 14025  
Berichtigung 1:2005-06

**Tanks für die Beförderung gefährlicher Güter –  
Drucktanks aus Metall –  
Auslegung und Bau;  
Deutsche Fassung EN 14025:2008**

Tanks for the transport of dangerous goods –  
Metallic pressure tanks –  
Design and Construction;  
German version EN 14025:2008

Citernes destinées au transport de matières dangereuses –  
Citernes métalliques sous pression –  
Conception et fabrication;  
Version allemande EN 14025:2008

Gesamtumfang 64 Seiten

Normenausschuss Tankanlagen (NATank) im DIN

## **Nationales Vorwort**

Dieses Dokument (EN 14025:2008) wurde von der Arbeitsgruppe (WG) 3 „Metallische Drucktanks“ (Sekretariat: DIN, Deutschland) des Technischen Komitees CEN/TC 296 „Tanks für die Beförderung gefährlicher Güter“ (Sekretariat: AFNOR Frankreich) erarbeitet.

Als nationales Spiegelgremium im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. war der NATank Arbeitsausschuss NA 104-03-23 AA "Tanks für die Beförderung gefährlicher Güter – Auslegung und Bau von Tanks" an der Erstellung der Norm beteiligt.

Die Norm wurde auf Grund eines Mandats (M 086) der Europäischen Kommission an CEN erarbeitet; sie soll der Unterstützung der Richtlinie 94/55/EG des Rates vom 21. November 1994 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für den Gefahrguttransport auf der Straße bzw. der Richtlinie 96/49/EG des Rates vom 23. Juli 1996 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für die Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter dienen und wurde zur Inbezugnahme in der Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID) und/oder in den technischen Anhängen des Europäischen Übereinkommens über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) vorgelegt.

## **Änderungen**

Gegenüber DIN EN 14025:2004-02 und DIN EN 14025 Berichtigung 1:2005-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Abschnitt 5.4 „Schutz der Ausrüstung“ hinzugefügt;
- b) Tabelle 1 „Auslegungskriterien“; Abschnitt 6.3.5.3.3 „Größe der Einsteigeöffnungen“ und Abschnitt 6.4 „Berechnung gegen Außendruck“ überarbeitet;
- c) Normenverweise insbesondere auf schweißtechnische Normen aktualisiert;
- d) RID/ADR-Zitate im Anhang A um weitere Abschnitte ergänzt und auf die Ausgabe 2009 aktualisiert.

## **Frühere Ausgaben**

DIN EN 14025: 2004-02

DIN EN 14025 Berichtigung 1: 2005-06

Deutsche Fassung

Tanks für die Beförderung gefährlicher Güter –  
Drucktanks aus Metall –  
Auslegung und Bau

Tanks for the transport of dangerous goods –  
Metallic pressure tanks –  
Design and Construction

Citernes destinées au transport de matières dangereuses –  
Citernes métalliques sous pression –  
Conception et fabrication

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 7. April 2008 angenommen.

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

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

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



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

## Inhalt

|                                                                                                                                                   | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Vorwort.....                                                                                                                                      | 3     |
| 1 Anwendungsbereich.....                                                                                                                          | 4     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                                                                    | 4     |
| 3 Begriffe und Symbole.....                                                                                                                       | 5     |
| 3.1 Begriffe .....                                                                                                                                | 5     |
| 3.2 Symbole .....                                                                                                                                 | 6     |
| 4 Werkstoffe .....                                                                                                                                | 7     |
| 4.1 Allgemeines .....                                                                                                                             | 7     |
| 4.2 Verträglichkeit .....                                                                                                                         | 7     |
| 5 Auslegung .....                                                                                                                                 | 7     |
| 5.1 Allgemeines .....                                                                                                                             | 7     |
| 5.2 Reduzierung der Tankwanddicke.....                                                                                                            | 7     |
| 5.3 Schutz des Tankkörpers .....                                                                                                                  | 8     |
| 5.4 Schutz der Ausrüstung .....                                                                                                                   | 8     |
| 6 Berechnung .....                                                                                                                                | 8     |
| 6.1 Allgemeines .....                                                                                                                             | 8     |
| 6.2 Auslegungskriterien .....                                                                                                                     | 10    |
| 6.3 Berechnung für Innendruck.....                                                                                                                | 10    |
| 6.4 Berechnung gegen Außendruck .....                                                                                                             | 28    |
| 6.5 Verbindung von Tank und Rahmen .....                                                                                                          | 29    |
| 7 Bau und Herstellung.....                                                                                                                        | 29    |
| 7.1 Allgemeine Anforderungen.....                                                                                                                 | 29    |
| 7.2 Schneiden .....                                                                                                                               | 29    |
| 7.3 Formen .....                                                                                                                                  | 30    |
| 7.4 Schweißen .....                                                                                                                               | 31    |
| 7.5 Herstellungstoleranzen .....                                                                                                                  | 33    |
| 8 Reparaturen .....                                                                                                                               | 34    |
| 8.1 Allgemeines .....                                                                                                                             | 34    |
| 8.2 Reparatur von Oberflächenfehlern im Grundwerkstoff .....                                                                                      | 35    |
| 8.3 Reparatur von Schweißfehlern.....                                                                                                             | 35    |
| Anhang A (informativ) Zitate aus RID/ADR (Ausgabe 2009) .....                                                                                     | 36    |
| A.1 Einleitung.....                                                                                                                               | 36    |
| A.2 Tankfahrzeuge (Auszug aus Kapitel 6.8 ADR), Tankcontainer (Auszug aus Kapitel 6.8 RID/ADR) und Kesselwagen (Auszug aus Kapitel 6.8 RID) ..... | 36    |
| A.3 Sondervorschriften für die Klasse 2 (Auszug aus Abschnitt 6.8.3 ADR/RID) .....                                                                | 48    |
| A.4 Beziehung zwischen Prüf- und Berechnungsdruck (Auszug aus Absatz 6.8.2.4.1 ADR/RID) .....                                                     | 48    |
| Anhang B (informativ) Berechnungsbeispiel .....                                                                                                   | 49    |
| B.1 Einleitung.....                                                                                                                               | 49    |
| B.2 Abmessungen, Werkstoffeigenschaften, Betriebs- und Prüfbedingungen.....                                                                       | 49    |
| B.3 Berechnung nach Zweig A.....                                                                                                                  | 50    |
| B.4 Berechnung nach Zweig B.....                                                                                                                  | 50    |
| B.5 Berechnung nach Zweig C.....                                                                                                                  | 51    |
| B.6 Berechnung nach Zweig D.....                                                                                                                  | 53    |
| B.7 Ergebnisse.....                                                                                                                               | 60    |
| Literaturhinweise .....                                                                                                                           | 62    |

## Vorwort

Dieses Dokument (EN 14025:2008) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 296 „Tanks für die Beförderung gefährlicher Güter“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis November 2008, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis November 2008 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument ersetzt EN 14025:2003.

Diese Europäische Norm wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt die Ziele der Rahmenrichtlinien für die Beförderung gefährlicher Güter.

Diese Norm wurde zur Inbezugnahme in der Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID) und/oder in den technischen Anhängen des Europäischen Übereinkommens über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) vorgelegt.

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.

## **1 Anwendungsbereich**

Diese Europäische Norm legt Mindestanforderungen für die Auslegung und den Bau von metallischen Drucktanks mit einem maximalen Betriebsdruck von mehr als 50 kPa (0,5 bar) für die Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße und mit der Eisenbahn fest. Diese Norm beinhaltet auch Anforderungen an Öffnungen, Verschlüsse und die bauliche Ausrüstung; Anforderungen an die Bedienungsausrüstung werden nicht behandelt. Für Straßentankfahrzeuge für die Beförderung von LPG siehe EN 12493. Für Tanks für die Beförderung von tiefkalten Flüssigkeiten siehe EN 13530-1 und EN 13530-2.

**ANMERKUNG** Auslegung und Bau von Drucktanks nach dieser Norm unterliegen im Wesentlichen den zutreffenden Vorschriften in 6.8.2.1, 6.8.3.1 und 6.8.5 des RID/ADR. Zusätzlich sind außerdem die zutreffenden des Kapitel 3.2, Tabelle A, Spalten 12 und 13, 4.3 und 6.8.2.4 des RID/ADR einzuhalten. Für die bauliche Ausrüstung gelten die zutreffenden Vorschriften in 6.8.2.2 und 6.8.3.2 zusätzlich. Auf die in Abschnitt 1.2.1 des RID/ADR enthaltenen Begriffsbestimmungen wird verwiesen.

## **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 287-1, *Prüfung von Schweißern — Schmelzschweißen — Teil 1: Stahl*

EN 473, *Zerstörungsfreie Prüfung — Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung — Allgemeine Grundlagen*

EN 970, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schmelzschweißnähten — Sichtprüfung*

EN 1435, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Durchstrahlungsprüfung von Schmelzschweißverbindungen*

EN 1591-1, *Flansche und ihre Verbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung — Teil 1: Berechnungsmethode*

EN 1714, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung von Schweißverbindungen*

EN 12285-1:2003, *Werksgefertigte Tanks aus metallischen Werkstoffen — Teil 1: Liegende ein- und doppelwandige Tanks zur unterirdischen Lagerung von brennbaren und nicht brennbaren wassergefährdenden Flüssigkeiten*

EN 12561-6, *Bahnanwendungen — Kesselwagen — Teil 6: Mannloch*

EN 13094:2008, *Tanks für die Beförderung gefährlicher Güter — Metalltanks mit einem Betriebsdruck von höchstens 0,5 bar — Auslegung und Bau*

EN 13445-2, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 2: Werkstoffe*

EN 13445-3:2002, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 3: Konstruktion*

EN 13445-4:2002, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 4: Herstellung*

EN ISO 3834-1, *Qualitätsanforderungen für das Schmelzschweißen von metallischen Werkstoffen — Teil 1: Kriterien für die Auswahl der geeigneten Stufe der Qualitätsanforderungen (ISO 3834-1:2005)*

EN ISO 3834-2, *Qualitätsanforderungen für das Schmelzschweißen von metallischen Werkstoffen — Teil 2: Umfassende Qualitätsanforderungen (ISO 3834-2:2005)*

EN ISO 5817, *Schweißen — Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2003, korrigierte Fassung:2005, einschließlich Technisches Corrigendum 1:2006)*

EN ISO 9606-2, *Prüfung von Schweißern — Schmelzschweißen — Teil 2: Aluminium und Aluminiumlegierungen (ISO 9606-2:2004)*

EN ISO 10042, *Schweißen — Lichtbogenschweißverbindungen an Aluminium und seinen Legierungen — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 10042:2005)*

EN ISO 15607, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Allgemeine Regeln (ISO 15607:2003)*

EN ISO 15609-1, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 1: Lichtbogenschweißen (ISO 15609-1:2004)*

EN ISO 15609-3, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 3: Elektronenstrahlschweißen (ISO 15609- 3:2004 )*

EN ISO 15609-4, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 4: Laserstrahlschweißen (ISO 15609-4:2004)*

EN ISO 15610, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Qualifizierung aufgrund des Einsatzes von geprüften Schweißzusätzen (ISO 15610:2003)*

EN ISO 15611, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Qualifizierung aufgrund von vorliegenden schweißtechnischen Erfahrungen (ISO 15611:2003)*

EN ISO 15612, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Qualifizierung durch Einsatz eines Standardschweißverfahrens (ISO 15612:2004)*

EN ISO 15613, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Qualifizierung aufgrund einer vorgezogenen Arbeitsprüfung (ISO 15613:2004)*

EN ISO 15614-1, *Anforderungen und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfungen — Teil 1: Lichtbogen- und Gasschweißen von Stählen und Lichtbogenschweißen von Nickel und Nickellegierungen (ISO 15614-1:2004)*

EN ISO 15614-2, *Anforderungen und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 2: Lichtbogenschweißen von Aluminium und seinen Legierungen (ISO 15614-2:2005)*

ISO 1496-3, *Series 1 freight containers — Specification and testing — Part 3: Tank containers for liquids, gases and pressurized dry bulk.*

ISO 7005-1, *Metallic flanges — Part 1: Steel flanges.*

### 3 Begriffe und Symbole

#### 3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

##### 3.1.1

##### **Drucktank**

Tank, wie er in den internationalen Vorschriften für die Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße oder mit der Eisenbahn festgelegt ist, mit einem höchsten Betriebs- oder Prüfdruck über 50 kPa (0,5 bar)

### 3.2 Symbole

Die folgenden allgemeinen Symbole werden im gesamten Text verwendet; sie sind in alphabetischer Reihenfolge aufgelistet. Besondere Symbole werden bei den entsprechenden Gleichungen erklärt. Weitere im Text verwendete Symbole werden auch im Anhang A erläutert.

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A, A_p; f_m; f_b; f_p$ | Querschnittsflächen für die Berechnung von Abzweigungsverstärkungen (siehe 6.3.5.2 und Bild 7)                                                                                                                                                                               |
| $d_i$                   | Innendurchmesser einer Öffnung                                                                                                                                                                                                                                               |
| $D_C$                   | mittlerer Durchmesser des zylindrischen Teils des Tanks an der Verbindungsstelle zur Kegelschale                                                                                                                                                                             |
| $D_e$                   | Außendurchmesser des zylindrischen Teils des Tanks oder des geraden Flansches des gewölbten Bodens                                                                                                                                                                           |
| $D_i$                   | Innendurchmesser des zylindrischen Teils des Tanks oder des geraden Flansches des gewölbten Bodens                                                                                                                                                                           |
| $e$                     | erforderliche Mindestwanddicke des Tanks, in mm                                                                                                                                                                                                                              |
| $e_k$                   | Wanddicke des kegelförmigen Teils des Tanks                                                                                                                                                                                                                                  |
| $e_R$                   | Wanddicke eines halbkugelförmigen Bodens                                                                                                                                                                                                                                     |
| $E$                     | Elastizitätsmodul                                                                                                                                                                                                                                                            |
| $f_d$                   | Berechnungsnennspannung (zulässige Spannung)                                                                                                                                                                                                                                 |
| $h$                     | Innenhöhe eines elliptischen gewölbten Bodens                                                                                                                                                                                                                                |
| $K$                     | Formbeiwert für elliptische Böden                                                                                                                                                                                                                                            |
| $MWP$                   | maximaler Betriebsdruck, in MPa                                                                                                                                                                                                                                              |
| $p$                     | Auslegungsdruck, in MPa                                                                                                                                                                                                                                                      |
| $p_{dyn}$               | äquivalenter dynamischer Druck                                                                                                                                                                                                                                               |
| $p_{test}$              | Prüfdruck, in MPa                                                                                                                                                                                                                                                            |
| $p_{vap}$               | der höhere Wert des Dampfdrucks bei 50 °C oder Auslegungstemperatur, als Zahlenwert des absoluten Drucks                                                                                                                                                                     |
| $r$                     | innerer Krempenradius, in mm                                                                                                                                                                                                                                                 |
| $R$                     | innerer kugelförmiger Radius des zentralen Teils des torisphärischen Bodens                                                                                                                                                                                                  |
| $R_e$                   | garantierte (obere) Mindeststreckgrenze, in N/mm <sup>2</sup> , oder garantierte 0,2-%-Dehngrenze in N/mm <sup>2</sup> (für austenitische Stähle darf die 1-%-Dehngrenze gewählt werden)                                                                                     |
| $R_{e,t}$               | garantierte (obere) Mindeststreckgrenze, in N/mm <sup>2</sup> , oder garantierte 0,2-%-Dehngrenze in N/mm <sup>2</sup> bei der betreffenden Auslegungstemperatur (für austenitische Stähle darf die 1-%-Dehngrenze bei der betreffenden Auslegungstemperatur gewählt werden) |
| $R_m$                   | garantierte Mindestzugfestigkeit, in N/mm <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                       |
| $R_{m,t}$               | garantierte Mindestzugfestigkeit bei der betreffenden Auslegungstemperatur, in N/mm <sup>2</sup>                                                                                                                                                                             |
| $\lambda_S$             | Schweißfaktor                                                                                                                                                                                                                                                                |

## 4 Werkstoffe

### 4.1 Allgemeines

Tankkörper müssen aus metallischen Werkstoffen hergestellt werden, die widerstandsfähig gegen Sprödbbruch sind und eine angemessene Kerbschlagzähigkeit innerhalb des Auslegungstemperaturbereiches besitzen. Der Werkstoff muss verformbar sein. EN 13445-2 gilt ebenfalls, siehe jedoch auch A.2 und A.3. Für Aluminium und Aluminiumlegierungen siehe auch EN 14286.

Geschweißte Tankkörper müssen aus einem Werkstoff mit nachgewiesenen geeigneten Schweißseigenschaften gefertigt werden.

### 4.2 Verträglichkeit

Tankkörper, Armaturen und Verrohrungen sind aus Werkstoffen zu fertigen, die

- a) in hohem Maße widerstandsfähig gegenüber den zu befördernden Stoffen sind; oder
- b) durch chemische Reaktion wirksam passiviert oder neutralisiert worden sind; oder
- c) mit einem korrosionsbeständigen Material ausgekleidet sind, das direkt mit dem Tankkörper verbunden oder gleichwertig befestigt ist.

(siehe auch A.2).

Dichtungen müssen aus Werkstoffen hergestellt sein, die nicht durch die zur Beförderung vorgesehenen Stoffe angegriffen werden können. Die Werkstoffe des Tanks, einschließlich jeglicher Vorrichtungen, Dichtungen, Auskleidungen und Zubehörteile dürfen die zur Beförderung im Tank vorgesehenen Stoffe nicht nachteilig beeinflussen.

Richtlinien zu Werkstoffbeständigkeitsangaben in Bezug auf die zu befördernden Stoffe können dem Anhang B von EN 12285-1:2003 entnommen werden.

## 5 Auslegung

### 5.1 Allgemeines

Tanks müssen so ausgelegt sein, dass sie ohne Verlust des Inhalts unter Berücksichtigung von Abschnitt 6

- 1) den Betriebsbedingungen einschließlich der statischen und dynamischen Kräfte unter normalen Beförderungsbedingungen;
- 2) den Prüfbedingungen und
- 3) (wenn gefordert) den Bedingungen bei Explosionsdruckstoß

standhalten.

**ANMERKUNG** Die aus den zutreffenden internationalen Rechtsvorschriften (d. h. RID und ADR) stammenden Anforderungen sind zur Information im Anhang A wiedergegeben.

### 5.2 Reduzierung der Tankwanddicke

Die Mindestwanddicke von Tankkörpern (siehe A.2) darf um höchstens 2 mm bei Verwendung von Baustahl oder eine entsprechende Dicke bei Verwendung anderer Metalle reduziert werden, wenn der Tank einen Schutz gegen Beschädigung durch seitliches Anfahren oder Überschlagen aufweist (siehe 5.3 und A.2).

Bei Kesselwagen ist eine Reduzierung der Mindestwanddicke aus Schutzgründen nicht zulässig.

### **5.3 Schutz des Tankkörpers**

Tankkörper von Tankcontainern sind gegen Beschädigung geschützt, wenn eine der folgenden Maßnahmen getroffen wurde:

- Eine Konstruktion, bei der der Tankkörper durch ein völlig umschließendes Rahmenwerk mit Längs- und Querträgern gestützt ist. Die Konstruktion muss die Anforderungen von ISO 1496-3 erfüllen;
- eine Doppelwandkonstruktion, bei der die Summe der Dicken der metallischen Außenwand und der Tankwand selbst die in A.2 für Wanddickenreduzierung festgelegte Mindestwanddicke nicht unterschreitet;
- eine „Sandwich“-Konstruktion, d. h. Tankkörper mit einer Doppelwand und einer starren Feststoffzwischenwand (z. B. Schaum von mindestens 50 mm Dicke), wenn die Außenwand eine Dicke von mindestens 0,5 mm aufweist, wenn sie aus Stahl, oder von 0,8 mm, wenn sie aus Aluminium besteht, oder von 2 mm, wenn sie aus glasfaserverstärktem Kunststoff besteht. Bei Zwischenschichten aus anderen Stoffen (z. B. Mineralwolle mit einer Dicke von mindestens 100 mm), wenn die Außenwand eine Dicke von mindestens 0,8 mm bei Verwendung von austenitischem Stahl aufweist. Wenn andere Werkstoffkombinationen zum Schutz gegen Beschädigung verwendet werden, ist nachzuweisen, dass sie Eigenschaften aufweisen, die der in A.2 geforderten Mindestwanddicke gleichwertig sind. Ein Verfahren zum Vergleich des Arbeitsaufnahmevermögens ist im Anhang B von EN 13094:2008 angegeben.

Für Tankkörper von Straßentankfahrzeugen siehe auch 6.8.2 von EN 13094:2008.

### **5.4 Schutz der Ausrüstung**

Ausrüstungsteile müssen gegen Abreißen und Beschädigung während der Beförderung oder Handhabung gesichert werden.

Ausrüstungsteile sind sie durch Verstärkungsringe, Verkleidung oder Quer- oder Längsversteifungen zu schützen. Der Schutz der Ausrüstung muss 6.14 von EN 13094:2008 entsprechen.

Ausrüstungsteile von Tankcontainern sind geschützt, wenn sie sich innerhalb der Rahmenkonstruktion des Containers befinden.

Ausrüstungen von Tanks für die Beförderung von Stoffen, für die die Sondervorschrift TE 19 des ADR gilt, (siehe Unterkapitel 6.8.4 ADR) benötigen einen zusätzlichen Schutz.

ANMERKUNG Für Saug-Druck-Tanks gilt 6.10.3.1 RID/ADR.

## **6 Berechnung**

### **6.1 Allgemeines**

Das in Bild 1 angegebene Berechnungsschema zeigt, wie die Mindestwanddicke eines Tankkörpers zu berechnen ist, um die Anforderungen dieser Norm und der zutreffenden internationalen Rechtsvorschriften (d. h. RID und ADR) zu erfüllen.

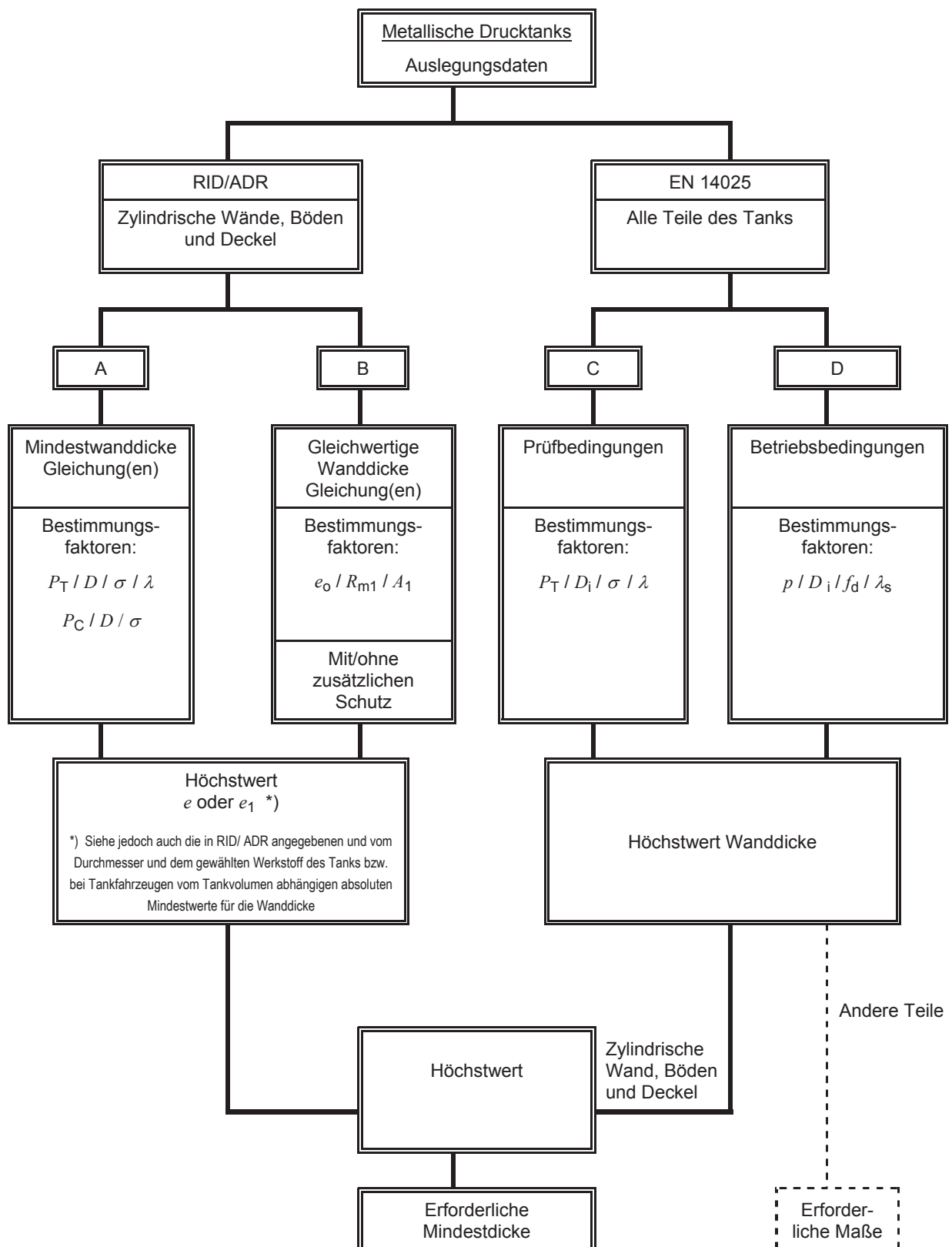


**Bild 1 — Berechnungsschema zur Bestimmung der Wanddicke metallischer Drucktanks für die Beförderung gefährlicher Güter**

Die Wanddicke darf nicht kleiner gewählt werden als der größte Wert, der sich einerseits aus der Bestimmung der Mindestwanddicke nach den zutreffenden internationalen Rechtsvorschriften (d. h. RID/ADR; Bild 1, Zweige A und B sowie A.2) und andererseits aus den folgenden auf die Betriebs- und Prüfbedingungen angewendeten Gleichungen (Bild 1, Zweige C und D) ergibt.

## 6.2 Auslegungskriterien

Die anzuwendenden Auslegungskriterien (Lasten, zulässige Spannungen, Auslegungstemperatur usw.) sind Tabelle 1 zu entnehmen.

**Tabelle 1 — Auslegungskriterien**

|                                                                 | Betriebsbedingungen                                                                                                                                                                                                                               | Prüfbedingungen                                         |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| $p$                                                             | $MWP$<br>aber nicht kleiner als<br>$(p_{vap} - 1 \text{ bar}) + p_{dyn}$ wo zutreffend <sup>a</sup>                                                                                                                                               | $p_{test}^b$                                            |
| $f_d$ für Baustahl und Aluminiumlegierungen                     | $\min \{ R_{e,t} / 1,5; R_m / 2,4 \}$                                                                                                                                                                                                             | $\min \{ 0,75 R_e; 0,5 R_m \}$                          |
| $f_d$ für austenitische Stähle mit<br>$30 \% \leq A \leq 35 \%$ | $R_{e,t} / 1,5$                                                                                                                                                                                                                                   |                                                         |
| $f_d$ für austenitische Stähle mit $A > 35 \%$                  | $\max \{ R_{e,t} / 1,5; \min (R_{e,t} / 1,2; R_{m,t} / 3) \}^c$                                                                                                                                                                                   |                                                         |
| Auslegungstemperatur                                            | 20 °C, vorausgesetzt, die Betriebstemperatur des Tanks liegt im Bereich zwischen – 20 °C bis + 50 °C. Wenn die Betriebstemperatur außerhalb dieses Bereichs liegt, ist als Auslegungstemperatur der Extremwert der Betriebstemperatur anzusetzen. | Temperatur bei der Druckprüfung (üblicherweise +20 °C). |

<sup>a</sup> Die dynamischen Kräfte sind zu berücksichtigen. Dies darf durch die Einführung eines gleichwertigen dynamischen Drucks  $p_{dyn}$ , nicht kleiner als 35 kPa (0,35 bar), der auf der Grundlage der in den zutreffenden internationalen Rechtsvorschriften (siehe Anhang A) festgelegten dynamischen Kräfte bestimmt wurde, erfolgen. Er ist zum Dampfüberdruck ( $p_{vap} - 1 \text{ bar}$ ) zu addieren. Es ist das größte Tankabteil zu berücksichtigen.

<sup>b</sup> Den zutreffenden internationalen Rechtsvorschriften zu entnehmen (siehe auch Anhang A.4).

<sup>c</sup> Es ist anzumerken, dass die garantierten mechanischen Mindestwerte von der Temperatur abhängig sind und entsprechend zu wählen sind. Wenn keine genormten Werte verfügbar sind, müssen entsprechende Werte anderweitig bestimmt werden.

## 6.3 Berechnung für Innendruck

### 6.3.1 Allgemeines

Die Wanddicke des zylindrischen Teils des Tankkörpers ist nach 6.3.2 zu bestimmen. Die Wanddicke der Tankböden (einschließlich der Trennwände) ist nach 6.3.3 zu bestimmen; für Trennwände und Schwallbleche siehe auch A.2. Die Wanddicke eines kegelförmigen Teils und die Verstärkung der Verbindung zwischen dem Kegel und dem Zylinder muss nach 6.3.4 bestimmt werden. Zu Flanschen, Verbindungsstücken und ihren Verschraubungen siehe 6.3.6.

Öffnungen im Tank sind nach 6.3.5 auszulegen.

Die Berechnung von nachfolgend nicht genannten Konstruktionen muss nach EN13445-3 erfolgen.

### 6.3.2 Wanddicke des zylindrischen Teils

Die Wanddicke darf nicht kleiner sein als der nach Gleichung (1) erhaltene Wert.

$$e = \frac{p \times D_i}{2 f_d \times \lambda_s - p} \quad (1)$$

### 6.3.3 Wanddicke der Böden

#### 6.3.3.1 Allgemeines

Die Wanddicke der Böden darf, vorbehaltlich der Auslegungsgrenzen in 6.3.3.2, nicht geringer sein als in 6.3.3.3 und 6.3.3.4, beziehungsweise 6.3.3.5 oder 6.3.3.6 angegeben, je nachdem was zutrifft.

#### 6.3.3.2 Auslegungsgrenzen

Für die Tankböden gelten die folgenden Auslegungsgrenzen (vergleiche Bild 2):

(a) Halbkugelförmige Böden  $0,001 D_e \leq e \leq 0,16 D_e$

(b) Torisphärische Böden  $0,001 D_e \leq e \leq 0,08 D_e$

$$0,06 D_i \leq r \leq 0,2 D_i$$

$$r \geq 2 e$$

$$R \leq D_e$$

(c) Elliptische Böden  $0,001 D_i \leq e \leq 0,08 D_i$

$$3,4 \leq D_i/h \leq 4,4$$

Die vier Bedingungen in (b) und die zwei Bedingungen in (c) müssen gleichzeitig erfüllt sein.

ANMERKUNG Klöpfer- und Korbbogenböden sind Sonderfälle torisphärischer Böden:

#### Klöpferboden

Torisphärischer Boden mit  $R/D_e = 1,0$  und  $r/D_e = 0,1$

#### Korbbogenboden

Torisphärischer Boden mit  $R/D_e = 0,8$  und  $r/D_e = 0,154$

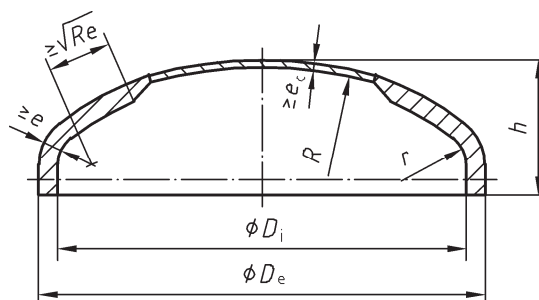


Bild 2 — Geometrie von Böden

### 6.3.3.3 Dicke des zylindrischen Bords

Die Wanddicke des zylindrischen oder geraden Bords eines Bodens darf nicht kleiner sein als die nach 6.3.2 bestimmte Dicke für ein zylindrisches Teil mit dem gleichen Innendurchmesser  $D_i$ .

### 6.3.3.4 Dicke von halbkugelförmigen Böden

Die Dicke eines halbkugelförmigen Bodens darf nicht kleiner sein als die mit Gleichung (2) ermittelte Dicke.

$$e_R = \frac{p \times D_i}{4 f_d \times \lambda_S - p} \quad (2)$$

### 6.3.3.5 Dicke von torisphärischen Böden

#### 6.3.3.5.1 Allgemeines

Die Mindestdicke der torisphärischen Böden muss dem höchsten der mit den Gleichungen (3) bis (5) bestimmten Wert von  $e_y$ ,  $e_s$  oder  $e_b$  entsprechen.

$$e_y = \beta_e \frac{p (0,75 \times R + 0,2 \times D_i)}{f_d} \quad (3)$$

Dabei wird  $\beta_e$  aus den Gleichungen (6) bis (14) errechnet.

$$e_s = \frac{p \times R}{2 f_d \times \lambda_S - 0,5 \times p} \quad (4)$$

$$e_b = (0,75 \times R + 0,2 \times D_i) \left( \frac{p}{111 f_d} \left( \frac{D_i}{r} \right)^{0,825} \right)^{\left( \frac{2}{3} \right)} \quad (5)$$

Wenn Böden aus mehreren Elementen hergestellt werden, darf (nur zur Dickenberechnung) der Schweißfaktor  $\lambda_S$  zu 1,0 angenommen werden, wenn die Schweißnaht den Kranzbereich von  $0,6 D_e$  kreuzt (siehe Bild 3).

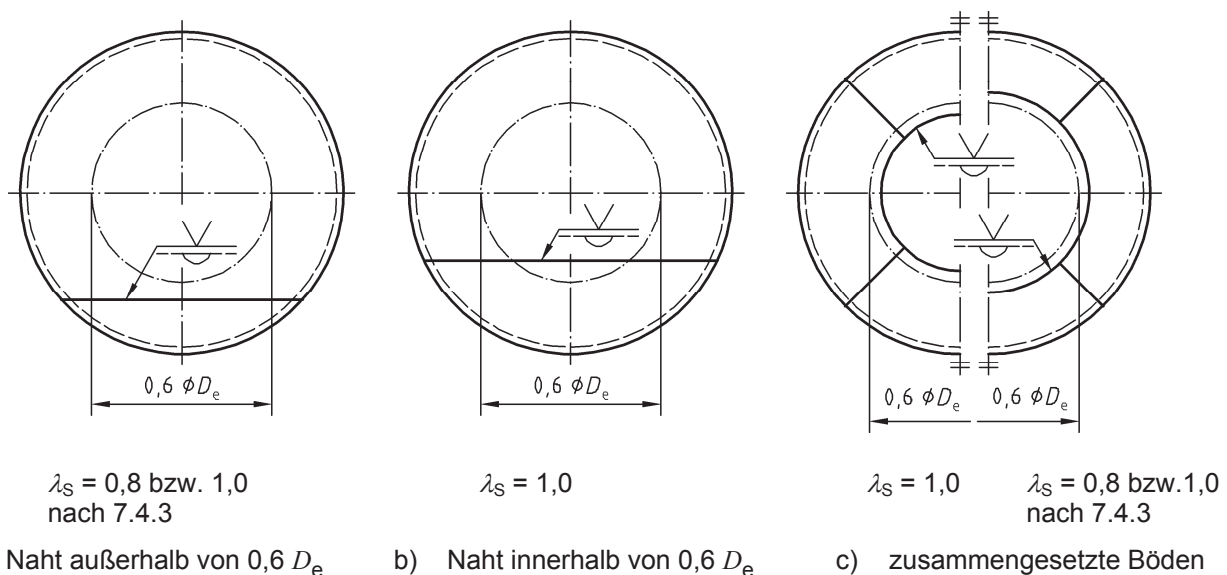


Bild 3 — Position der Schweißnähte in Böden

#### 6.3.3.5.2 Gleichungen zur Berechnung von $\beta_e$

$$Y = \min (e / R ; 0,04) \quad (6)$$

$$Z = \log_{10} (1 / Y) \quad (7)$$

$$X = r / D_i \quad (8)$$

$$N = 1,006 - \frac{1}{6,2 + (90 Y)^4} \quad (9)$$

Für  $X = 0,06$ :

$$\beta_{e,0,06} = N (-0,3635 Z^3 + 2,2124 Z^2 - 3,2937 Z + 1,8873) \quad (10)$$

Für  $0,06 < X < 0,1$ :

$$\beta_e = 25 [(0,1 - X) \beta_{e,0,06} + (X - 0,06) \beta_{e,0,1}] \quad (11)$$

Für  $X = 0,1$ :

$$\beta_{e,0,1} = N (-0,1833 Z^3 + 1,0383 Z^2 - 1,2943 Z + 0,837) \quad (12)$$

Für  $0,1 < X < 0,2$ :

$$\beta_e = 10 [(0,2 - X) \beta_{e,0,1} + (X - 0,1) \beta_{e,0,2}] \quad (13)$$

Für  $X = 0,2$ :

$$\beta_{e,0,2} = \max \{ 0,95 (0,56 - 1,94 Y - 82,5 Y^2) ; 0,5 \} \quad (14)$$

#### 6.3.3.5.3 Öffnungen im Krepfenbereich von Klöpper- und Korbbogenböden

**6.3.3.5.3.1** In diesem Abschnitt sind Regeln für die Erhöhung der Dicke eines gewölbten Bodens zum Ausgleich von Abzweigungen innerhalb des Krepfenbereichs angegeben.

Die Regeln sind in ihrer Anwendung auf Klöpper- und Korbbogenböden begrenzt, bei denen

$$a) \quad d_i / D_e \leq 0,6 \quad (15)$$

$$b) \quad \frac{d_i}{\sqrt{e \times D_e}} \leq 6,7 \quad (16)$$

Die in diesem Abschnitt geforderte erhöhte Dicke gilt für den gesamten Krepfenbereich. Ein Ausgleich durch Aufschweißung ist nicht zulässig.

**6.3.3.5.3.2**  $\beta_k$  ist mit dem in Tabelle 2 angegebenen Verfahren zu bestimmen.

Um die geforderte Dicke zu ermitteln, ist in Gleichung (3)  $p$  durch  $(\beta_k \times p)$  zu ersetzen. Die Gleichungen (4) und (5) gelten weiter ohne Änderung.

**Tabelle 2 — Verfahren zur Berechnung des Abschwächungsfaktors  $\beta_k$  für Öffnungen im Krepfenbereich (Auslegung)**

| Stufe | Klörperböden                                                                     | Korbbogenböden                                                                   |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | $V = \log_{10} \left( 1000 \frac{p}{f_d} \right)$                                | $V = \log_{10} \left( 1000 \frac{p}{f_d} \right)$                                |
| 2     | $A = \max \{0,5; 0,264 + 0,938 V - 0,592 V^2 + 0,14 V^3\}$                       | $A = 0,54 + 0,41 V - 0,044 V^3$                                                  |
| 3     | $B = \min \{4,2; 4,91 - 2,165 V + 0,151 V^2\}$                                   | $B = 7,77 - 4,53 V + 0,7441 V^2$                                                 |
| 4     | $\beta_k = \max \left( A + B \frac{d_i}{D_e}; 1 + 0,3 B \frac{d_i}{D_e} \right)$ | $\beta_k = \max \left( A + B \frac{d_i}{D_e}; 1 + 0,5 B \frac{d_i}{D_e} \right)$ |

### 6.3.3.6 Dicke der elliptischen Böden

Ein elliptischer Boden ist ein Boden, der auf einem Former gefertigt wurde, der eine wahre elliptische Form hat. Elliptische Böden müssen einen Formfaktor  $K$  mit einem Wert zwischen 1,7 und 2,2 haben.

$$K = \frac{D_1}{2h} \quad (17)$$

Elliptische Böden sind mit den im Folgenden angegebenen Werten für  $r$  und  $R$  wie torisphärische Böden nach 6.3.3.5 auszulegen:

$$r = \left( \frac{0,5}{K} - 0,08 \right) D_1 \quad (18)$$

$$R = (0,44 K + 0,02) D_1 \quad (19)$$

### 6.3.4 Wanddicke der kegelförmigen Teile

#### 6.3.4.1 Allgemeines

Der kegelförmige Teil des Tankkörpers muss mit den Auslegungsgrenzen in 6.3.4.2 übereinstimmen. Die Wanddicke ist nach 6.3.4.3 zu bestimmen. Für weitere Informationen siehe auch EN 13445-3.

#### 6.3.4.2 Auslegungsgrenzen des kegelförmigen Teils

Dieser Abschnitt enthält Regeln für gerade kreisförmige Kegel und Kegel-/Zylinderabschnitte, bei denen der Kegel und der Zylinder die gleiche Drehachse haben. Sie gilt nur für Kegel mit einem Spitzenwinkel bis 120° und Kegel, bei denen

$$e \times \cos \alpha / D_c > 0,001 \quad (20)$$

ist (zum Winkel  $\alpha$  siehe Bild 4).

Bei versetzten Kegeln zwischen zwei Zylindern darf der Versatz der parallelen Mittellinien der Zylinder zueinander nicht größer sein als die Differenz ihrer Radien. Die geforderte Dicke ist für die Verbindung am großen Ende nach 6.3.4.3.3 und für die Verbindung am kleinen Ende nach 6.3.4.3.4 zu berechnen. Da die so errechnete Dicke die mindestzulässige an dieser Stelle ist, ist es zulässig, einen Kegel aus Blechen unterschiedlicher Dicke zu fertigen, vorausgesetzt, dass an jeder Stelle die Mindestdicke erreicht wird.

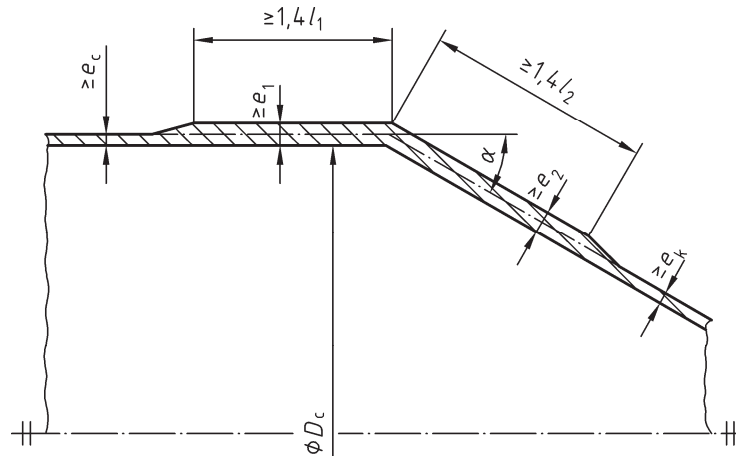


**Bild 4 — Verbindung zwischen Zylinder und Kegel, Winkel  $\alpha$**

### 6.3.4.3 Bestimmung der Wanddicke des kegelförmigen Teils

**6.3.4.3.1** Die Mindestdicke der Wand  $e_k$  des kegelförmigen Teils des Tankkörpers darf nicht kleiner sein als der niedrigste nach Gleichung (21) erhaltene Wert, es sei denn, in den Unterabschnitten von 6.3.4.3 ist etwas anderes gefordert.

$$e_k = \left( \frac{p \times D_i}{2 f_d \times \lambda_S - p} \right) \left( \frac{1}{\cos \alpha} \right) \quad (21)$$

### 6.3.4.3.2 Wanddicke an der Verbindung der zylindrischen und kegelförmigen Teile des Tanks

Die Bedingungen und Auslegungsberechnungen für das große Ende des Kegels sind in 6.3.4.3.3 und für das kleine Ende des Kegels in 6.3.4.3.4 angegeben.

### 6.3.4.3.3 Großes Ende des Kegels ohne Krempe an der Verbindungsstelle

Die Verbindung ist mittels Stumpfschweißung herzustellen. Der Übergang zwischen der Verbindung vom zylindrischen Teil zum kegelförmigen Teil muss glatt sein.

Die Naht muss zu 100 % einer Durchstrahlungsprüfung oder Ultraschallprüfung unterzogen werden, es sei denn, die tatsächliche Dicke ist um 40 % größer als die nach diesem Unterabschnitt bestimmte Mindestdicke.

Die Mindestwanddicke des Tankkörpers an der Verbindungsstelle zwischen dem kegelförmigen und zylindrischen Teil ist durch Iteration mit den beiden folgenden Gleichungen zu bestimmen.

$$e_1 = \frac{p \times D_c \times \beta_c}{2 f_d} \quad (22)$$

$$\beta_c = \frac{1}{3} \left( \sqrt{\frac{D_c}{e_1}} \right) \left( \frac{\tan \alpha}{1 + 1/\sqrt{\cos \alpha}} \right) - 0,15 \quad (23)$$

Diese Dicke muss auf einer Länge von mindestens  $1,4 \ell_1$ , von der Verbindungsstelle entlang des Zylinders eingehalten werden. Die erforderliche Dicke  $e_2$  des an die Verbindung angrenzenden Kegels ist die größere von  $e$  und  $e_k$ . Diese Dicke muss auf einer Länge von mindestens  $1,4 \ell_2$  von der Verbindung entlang des Kegels aufrechterhalten werden, siehe Bild 4. Die Entfernungen  $\ell_1$  und  $\ell_2$  werden wie folgt bestimmt:

$$\ell_1 = \sqrt{D_c \times e_1} \quad (24)$$

$$\ell_2 = \sqrt{\frac{D_c \times e_2}{\cos \alpha}} \quad (25)$$

#### 6.3.4.3.4 Mindestdicke am kleinen Ende des Kegels

Dieser Abschnitt gilt unter der Voraussetzung, dass

- die Verbindung mehr als  $2 \ell_1$  entlang des Zylinders und  $2 \ell_2$  entlang des Kegels von irgendeiner anderen Verbindungsstelle oder größeren "Störstelle" entfernt ist, wie z. B. eine andere Kegel-/Zylinder-Verbindung oder ein Flansch; und
- die Mindestdicke des Zylinders  $e_1$  über eine Entfernung  $\ell_1$  und die Mindestdicke des Kegels  $e_2$  über eine Entfernung  $\ell_2$  aufrechterhalten wird; ( $\ell_1$  und  $\ell_2$  werden unter Zuhilfenahme von Bild 5 mit den Gleichungen (24) und (25) berechnet) und
- die Dicken die Anforderungen in 6.3.2 und 6.3.4.3.1 erfüllen.

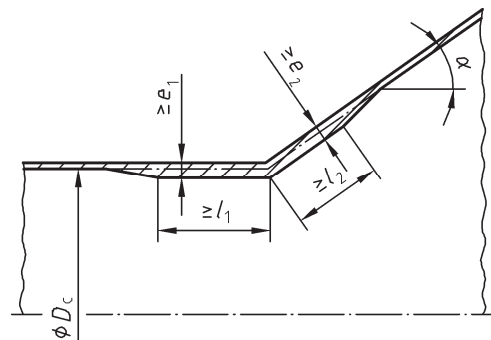


**Bild 5 — Geometrie des Schnittpunktes von Kegel und Zylinder; kleine Seite**

Die Mindestdicken  $e_1$  und  $e_2$  müssen so ausgewählt werden, dass

$$e_1 = \frac{p \times D_c \times \beta_H}{2 f_d \times \lambda_S} \quad (26)$$

wobei:

$$\beta_H = 0,4 \sqrt{\frac{D_c}{e_1}} \times \frac{\tan \alpha}{\tau} + 0,5 \quad (27)$$

$$\tau = S \times \sqrt{\frac{S}{\cos \alpha}} + \sqrt{\frac{1+S^2}{2}} \quad \text{wenn } S < 1 \quad (28)$$

$$\tau = 1 + \sqrt{\frac{1+S^2}{2 \cos \alpha}} \times S \quad \text{wenn } S \geq 1 \quad (29)$$

$$S = \frac{e_2}{e_1} \quad (30)$$

**ANMERKUNG** Die oben genannten Anforderungen liefern keine getrennten Werte für  $e_1$  und  $e_2$ . Sie müssen unter Umständen im Verhältnis zueinander angepasst werden, um den Auslegungserfordernissen zu genügen.

### 6.3.5 Öffnungen und Verstärkungen

#### 6.3.5.1 Öffnungen im Tankkörper

##### 6.3.5.1.1 Allgemeines

Öffnungen im Tankkörper müssen entweder kreisrund oder elliptisch sein. Die Größe der Öffnungen darf nicht größer sein als in 6.3.5.1.2 angegeben. Der Abstand zwischen den Öffnungen darf nicht kleiner sein als in 6.3.5.1.3 angegeben.

Das Verhältnis von der größeren zur kleineren Achse von elliptischen Öffnungen darf nicht größer sein als 2 : 1. Die Achse von elliptischen Öffnungen im Tank entlang der Mantellinie ist als Öffnungsdurchmesser für Auslegungszwecke zugrunde zu legen.

Für längliche Öffnungen ist deren größere Länge als Durchmesser anzunehmen.

Das Verhältnis der Wanddicke der Abzweigung zur Wanddicke des Tanks selbst muss mit den Begrenzungen in Bild 6 übereinstimmen.

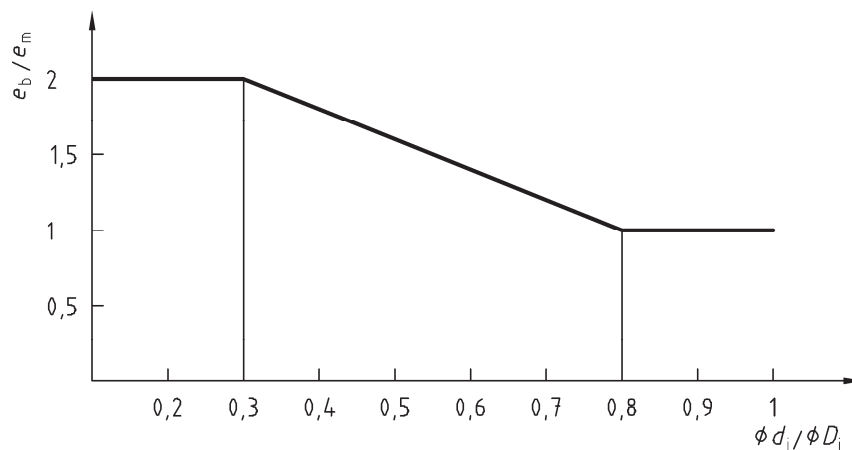


Bild 6 — Wanddickenverhältnis für Abzweigungen

##### 6.3.5.1.2 Größe der Öffnungen im Tankkörper

Die Größe der Öffnungen darf nicht größer sein als:

$$\frac{d_i}{D_i} \leq 1 \quad (31)$$

in den zylindrischen Teilen;

$$\frac{d_i}{D_i} \leq 0,6 \quad (32)$$

in den gewölbten Böden.

##### 6.3.5.1.3 Abstand zwischen Öffnungen

Der von der Außenseite der Abzweigung bzw. von der Verstärkung aus gemessene Abstand zwischen Öffnungen darf nicht geringer sein als  $2 \ell_m$ ,

wobei  $\ell_m = \sqrt{(2 r_{im} + e_m) \times e_m}$  (33)

Dabei gilt für Tankkörper  $r_{im} = \frac{D_i}{2}$  (34)

für torisphärische Böden  $r_{im} = R$  (35)

für elliptische Böden  $r_{im} = D_i \times \left( \frac{0,22 D_i}{h} + 0,02 \right)$  (36)

Dabei ist

$e_m$  die innerhalb der Länge  $\ell_m$  aufrechterhaltene Bestimmungsdicke des Tankkörper(boden)s;

$\ell_m$  die als ausgleichswirksam angesehene Länge des Tankkörpers, gemessen entlang der Mittellinie des Werkstoffs vom Rand der Öffnung ohne Stutzen oder außerhalb des Stutzens (oder der Scheibe).

Für Abstände kleiner als  $2 \ell_m$  ist der zwischen den Öffnungen verbleibende Querschnitt daraufhin zu überprüfen, ob er den auf ihn einwirkenden Lasten widerstehen kann (siehe auch Gleichung (37)).

### 6.3.5.2 Verstärkungen

**6.3.5.2.1** Das im Folgenden wiedergegebene Auslegungsverfahren gilt nur für zylindrische Tankkörper und gewölbte Böden mit kreisförmigen oder elliptischen Öffnungen, für die die Annahmen und Bedingungen in 6.3.5.1 erfüllt sind.

**6.3.5.2.2** Tankkörper mit Öffnungen sind – wenn erforderlich – zu verstärken. Die Verstärkung des Tanks kann erreicht werden

- a) durch ein- oder aufgesetzte Scheiben;
- b) durch ein- oder aufgesetzte Stutzen oder
- c) durch eine Kombination der zuvor genannten Maßnahmen.

**6.3.5.2.3** Der Verstärkungsbereich des Tanks selbst mit seinen Öffnungen kann nicht direkt berechnet werden, sondern ist zunächst zu schätzen. Diese Schätzung kann durch das im Folgenden festgelegte Verfahren überprüft werden. Das angewendete Verfahren basiert auf den ursprünglichen Druckdicken, die für den zylindrischen Teil des Tankkörpers mit den Gleichungen in 6.3.2 und für gewölbte Böden mit den Gleichungen in 6.3.3 ermittelt wurden, und führt zu Beziehungen zwischen der druckbeanspruchten Fläche  $A_p$  und der spannungsbeanspruchten Querschnittfläche, welche die Summe aus  $A_{fm}$ ,  $A_{fp}$  und  $A_{fb}$  (siehe Bild 7) ist. Es kann erforderlich sein, die Berechnung mit einer korrigierten Schätzung des Verstärkungsbereichs zu wiederholen.

**6.3.5.2.4** Erforderlichenfalls muss in allen Schnitten durch die Öffnung für eine ausreichende Verstärkung gesorgt werden.

**6.3.5.2.5** Im Fall von elliptischen Öffnungen darf das Verhältnis von größerer zu kleinerer Achse höchstens 2 betragen. Bei elliptischen Öffnungen im zylindrischen Teil des Tankkörpers muss die parallel zur Längsachse des Zylinders verlaufende Öffnungsachse als Durchmesser für die Auslegung angenommen werden. Bei elliptischen Öffnungen in gewölbten Böden muss die größere Achse als Durchmesser genommen werden.

**6.3.5.2.6** Mit Kehlnähten ein- oder aufgeschweißte Stutzen dürfen nur in der Berechnung dann als Verstärkung herangezogen werden, wenn das Verhältnis der Durchmesser  $d_i/D_e \leq 1/3$  und das Verhältnis der Wanddicken  $e_b/e_m$  kleiner als 0,7 ist. Jede Kehlnaht muss eine Nahtdicke von mindestens 0,7 mal der dünneren Wanddicke haben.