

DIN EN 14197-2

ICS 23.020.40

Ersatz für
DIN EN 14197-2:2004-02

**Kryo-Behälter –
Ortsfeste, nicht vakuum-isolierte Behälter –
Teil 2: Bemessung, Herstellung und Prüfung;
Deutsche Fassung EN 14197-2:2003 + A1:2006**

Cryogenic vessels –
Static non-vacuum insulated vessels –
Part 2: Design, fabrication, inspection and testing;
German version EN 14197-2:2003 + A1:2006

Réceptacles cryogéniques –
Réceptacles statiques, non isolés sous vide –
Partie 2: Conception, fabrication, inspection et essais;
Version allemande EN 14197-2:2003 + A1:2006

Gesamtumfang 102 Seiten

Normenausschuss Druckgasanlagen (NDG) im DIN

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab 2006-11-01.

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 14197-2:2003 + A1:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 268 „Cryogene Behälter“, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird, erarbeitet.

Das zuständige deutsche Gremium ist der NA 016-00-05 AA „Kryo-Behälter; Spiegelausschuss zu CEN/TC 268 und ISO/TC 220“ im Normenausschuss Druckgasanlagen (NDG).

Die Änderung A1:2006 (gekennzeichnet durch einen senkrechten Strich am linken Rand) wurde in diese Ausgabe eingearbeitet.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 14197-2:2004-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Ergänzung der Einleitung;
- b) Änderung und Ergänzung im Anhang H.

Frühere Ausgaben

DIN EN 14197-2: 2004-02

ICS 23.020.40

Deutsche Fassung

Kryo-Behälter — Ortsfeste, nicht vakuum-isolierte Behälter — Teil 2: Bemessung, Herstellung und Prüfung

Cryogenic vessels —
Static non-vacuum insulated vessels —
Part 2: Design, fabrication, inspection and testing

Réipients cryogéniques —
Réipients statiques, non isolés sous vide —
Partie 2: Conception, fabrication

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 01. September 2003 angenommen.

Die Änderung A1 wurde von CEN am 14. Juli 2006 angenommen.

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

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

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, der Slowakei, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn und dem Vereinigten Königreich.



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

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

Inhalt

	Seite
Vorwort	5
Vorwort der Änderung	5
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe und Symbole	9
3.1 Begriffe	9
3.2 Symbole	10
4 Bemessung	11
4.1 Möglichkeiten für den Nachweis der Bemessung	11
4.2 Allgemeine Anforderungen für die Bemessung	11
4.3 Rechnerischer Nachweis	16
5 Herstellung	51
5.1 Allgemeines	51
5.2 Schneiden	51
5.3 Kaltumformen	51
5.4 Warmumformen	52
5.5 Fertigungstoleranzen	53
5.6 Schweißen	57
5.7 Andere Verbindungen als Schweißverbindungen	58
6 Prüfung	58
6.1 Qualitätssicherung	58
6.2 Probeplatten für die Arbeitsprüfungen	59
6.3 Zerstörungsfreie Prüfungen	60
6.4 Ausbesserung von Fehlern	64
6.5 Druckprüfungen	64
Anhang A (normativ) Elastische Spannungsanalyse	65
A.1 Allgemeines	65
A.2 Begriffe	65
A.3 Grenzwert für die allgemeine Membranspannung durch Längsdruck	68
A.4 Spannungskategorien und Spannungsgrenzwerte	68
A.5 Spezifische Kriterien, Spannungskategorien und Spannungsgrenzwerte für begrenzte Anwendung	69
Anhang B (normativ) Zusätzliche Anforderungen für 9 %-Nickel-Stähle	75
B.1 Einleitung	75
B.2 Besondere Anforderungen	75
Anhang C (informativ) Druckverstärkung an Behältern aus austenitischen nicht rostenden Stählen	77
C.1 Einleitung	77
C.2 Anwendungsbereich	77
C.3 Begriffe und Einheiten	77
C.4 Werkstoffe	78
C.5 Bemessung	79
C.6 Herstellung und Prüfung	82
C.7 Kommentare	83
Anhang D (informativ) Druckbegrenzungssysteme	88
Anhang E (informativ) Angaben zum Schweißen	89
E.1 Anwendungsbereich	89
E.2 Schweißangaben	89
E.3 Anforderungen für den Sauerstoff-Betrieb	90
Anhang F (normativ) Zusätzliche Anforderungen für brennbare Gase	93

Anhang G (normativ) Erhöhte Werkstoffeigenschaften für austenitische nichtrostende Stähle.....	94
Anhang H (informativ) Grundwerkstoffe.....	95
Anhang I (normativ) Andere Werkstoffe.....	97
Anhang ZA (informativ) Abschnitte in dieser Europäischen Norm, die grundlegende Anforderungen oder andere Vorgaben von EU-Richtlinien betreffen	99
Literaturhinweise.....	100

Bilder

Bild 1 — Rechteckringe als Versteifung	27
Bild 2 — Profilringe als Versteifung	27
Bild 3 — Gewölbter Boden	28
Bild 4 a) — Gewölbter Vollboden	28
Bild 4 b) — Gewölbter Boden mit Stützen	28
Bild 4 c) — Böden mit Kalotte und Halbkugel von unterschiedlicher Wanddicke	28
Bild 4 d) — Nähte im Bereich von $0,6 D_a$	29
Bild 4 e) — Nähte außerhalb eines Bereiches von $0,6 D_a$	29
Bild 4 f) — Böden, zusammengeschweißt aus runden Platten und Segmenten	30
Bild 5 — Berechnungsbeiwerte β für 10%ige Klöpperböden.....	30
Bild 6 — Berechnungsbeiwerte β für Korbbogenböden 2 : 1	31
Bild 7 a) — Geometrie konvergierender Kegelmäntel	32
Bild 7 b) — Geometrie eines divergierenden Kegelmantels	32
Bild 8 — Geometrie eines Kegelausschnittes	33
Bild 9 — Geometrische Größen bei Beanspruchung durch äußeren Überdruck	33
Bild 10.1 — Zulässiger Wert $p \cdot S/15 K_v$ für einen konvergierenden Kegel mit einem Öffnungswinkel $\varphi = 10^\circ$	34
Bild 10.2 — Zulässiger Wert $p \cdot S/15 K_v$ für einen konvergierenden Kegel mit einem Öffnungswinkel $\varphi = 20^\circ$	35
Bild 10.3 — Zulässiger Wert $p \cdot S/15 K_v$ für einen konvergierenden Kegel mit einem Öffnungswinkel $\varphi = 30^\circ$	36
Bild 10.4 — Zulässiger Wert $p \cdot S/15 K_v$ für einen konvergierenden Kegel mit einem Öffnungswinkel $\varphi = 40^\circ$	37
Bild 10.5 — Zulässiger Wert $p \cdot S/15 K_v$ für einen konvergierenden Kegel mit einem Öffnungswinkel $\varphi = 50^\circ$	38
Bild 10.6 — Zulässiger Wert $p \cdot S/15 K_v$ für einen konvergierenden Kegel mit einem Öffnungswinkel $\varphi = 60^\circ$	39
Bild 10.7 — Zulässiger Wert $p \cdot S/15 K_v$ für einen konvergierenden Kegel mit einem Öffnungswinkel $\varphi = 70^\circ$	40
Bild 10.8 — Zulässiger Wert $p \cdot S/15 K_v$ für einen divergierenden Kegel (Eckstoß) mit einem Öffnungswinkel $\varphi = 10^\circ$ bis 70°	41
Bild 11 — Ausschnittsbeiwert C_A für ebene Böden und Platten ohne zusätzliches Randmoment	42
Bild 12 — Bemessungsfaktoren für nicht abgesteifte kreisförmige flache Endflächen und Platten	44
Bild 13 — Berechnungsbeiwert C_E rechteckiger oder elliptischer Platten	45
Bild 14 — Verstärkter zylindrischer Schuss	46
Bild 15 — Verstärkter kegelförmiger Schuss	46
Bild 16 — Blockflansch.....	46
Bild 17 — Eingesetzte Verstärkung	46
Bild 18 — Aufgesetzte Verstärkung.....	46
Bild 19 — Stützenverstärkung.....	47
Bild 20 — Ausgehalste Öffnung.....	47
Bild 21 — Scheibenförmige Verstärkung.....	48
Bild 22 — Berechnungsschema für zylindrische Grundkörper.....	48
Bild 23 — Berechnungsschema für kugelige Grundkörper	49
Bild 24 — Berechnungsschema für in Zylinder-Längsrichtung benachbarte Ausschnitte	49

Bild 25 — Berechnungsschema für benachbarte Ausschnitte in Umfangsrichtung des Mantels oder bei Kugeln in einem Zylinder	50
Bild 26 — Berechnungsschema für benachbarte Ausschnitte in Umfangsrichtung des Mantels oder bei Kugeln in einem Zylinder	50
Bild 27 — Kantenversatz von Blechen	54
Bild 28 — Einzelheiten der Lehre	56
Bild A.1 — Spannungskategorien und Grenzwerte der Spannungsgrößen	73
Bild A.2 — Für Behälter, die keinem Außendruck ausgesetzt sind	74
Bild C.1 — Spannungs-Dehnungs-Kurve für Kohlenstoff-Stahl	84
Bild C.2 — Spannungs-/Dehnungs-Kurve für austenitischen rostfreien Stahl	84
Bild D.1 — Beispiele von Entlastungssystemen	88
Bild E.1 — Sickennaht	90
Bild E.2 — Zwischenenden	91
Bild E.3 — Unterlegestreifen	91
Bild E.4 — Beispiele für den Verschluss ebener Böden	92
Bild E.5 — Nicht durchgehende Schweißnähte	92

Vorwort

Diese Europäische Norm EN 14197-2:2003 wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 268 „Kryo-Behälter“ 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 Mai 2004, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2004 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokumentes ist.

EN 14197 setzt sich aus folgenden Teilen mit dem Haupttitel *„Kryo-Behälter — Ortsfeste, nicht vakuum-isolierte Behälter“* zusammen:

- *Teil 1: Grundlegende Anforderungen;*
- *Teil 2: Bemessung, Herstellung und Prüfung;*
- *Teil 3: Betriebsanforderungen.*

Die Anhänge A, B, F, G und I sind normativ, die Anhänge C, D, E, H und J sind informativ.

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

Vorwort der Änderung A1

Dieses Dokument (EN 14197-2:2003/A1:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 268 „Cryogene Behälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Diese Änderung zur Europäischen Norm EN 14197-2:2003 muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Februar 2007, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Februar 2007 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EG-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EG-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA der Bestandteil dieses Dokumentes ist.

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

Einleitung

Das Europäische Komitee für Normung (CEN) weist auf den Umstand hin, dass der Anspruch erhoben wird, die Übereinstimmung mit diesem Dokument könne die Anwendung der für die Stahlsorten 1.4362 und 1.4410 geltenden Patentrechte umfassen.

CEN bezieht in Bezug auf Nachweis, Gültigkeit und Geltungsbereich dieser Patentrechte keine Stellung.

Die Inhaber dieser Patentrechte haben dem CEN versichert, dass sie bereit sind mit Antragstellern weltweit Lizenzen zu vernünftigen und nicht-diskriminierenden Bedingungen und Konditionen auszuhandeln. In Bezug darauf wurden die Ansprüche der Inhaber dieser Patentrechte beim CEN registriert. Informationen können bezogen werden bei:

AB Sandvik Materials Technology
SE-811 81
SANVIKEN
Sweden

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Bestandteile dieses Dokuments Patentrechte berühren können, die sich von den oben Bezeichneten unterscheiden. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm gilt für die Bemessung, Herstellung und Prüfung von ortsfesten, nicht vakuum-isolierten Kryo-Behältern, die für einen höchstzulässigen Betriebsdruck von über 0,5 bar bemessen sind.

Diese Norm gilt für ortsfeste, nicht vakuum-isolierte Kryo-Behälter für Fluide, die in EN 14197-1 festgelegt sind, und sie gilt nicht für giftige Fluide.

Für ortsfeste, nicht vakuum-isolierte Kryo-Behälter mit einem höchstzulässigen Betriebsdruck von weniger als 0,5 bar kann diese Norm als eine Richtlinie angewendet werden.

2 Normative Verweisungen

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

EN 287-1, *Prüfen von Schweißern — Schmelzschweißen — Teil 1: Stähle.*

EN 287-2, *Prüfen von Schweißern — Schmelzschweißen — Teil 2: Aluminium und Aluminiumlegierungen.*

EN 288-3:1992, *Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Teil 3: Schweißverfahrensprüfungen für das Lichtbogenschweißen von Stählen.*

EN 288-4:1992, *Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Teil 4: Schweißverfahrensprüfungen für das Lichtbogenschweißen von Aluminium und seinen Legierungen.*

EN 288-8, *Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Teil 8: Anerkennung durch eine Schweißprüfung vor Fertigungsbeginn.*

EN 473:2000, *Zerstörungsfreie Prüfung — Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung — Allgemeine Grundlagen.*

EN 875:1995, *Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen — Kerbschlagbiegeversuch — Probenlage, Kerbrichtung und Beurteilung.*

EN 895, *Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen — Querzugversuch.*

EN 910, *Zerstörende Prüfungen von Schweißnähten an metallischen Werkstoffen — Biegeprüfungen.*

EN 1252-1:1998, *Kryo-Behälter — Werkstoffe — Teil 1: Anforderungen an die Zähigkeit bei Temperaturen unter $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$.*

EN 1252-2, *Kryo-Behälter — Werkstoffe — Teil 2: Anforderungen an die Zähigkeit bei Temperaturen zwischen $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.*

EN 1418, *Schweißpersonal — Prüfung von Bedienern von Schweißeinrichtungen zum Schmelzschweißen und von Einrichtern für das Widerstandsschweißen für vollmechanisches und automatisches Schweißen von metallischen Werkstoffen.*

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

EN 1626:1999, *Tiefkalte Behälter — Ventile für tiefkalten Betrieb.*

EN 1708-1:1998, *Schweißen — Verbindungselemente beim Schweißen von Stahl — Teil 1: Drucktragende Bauelemente.*

EN 1797, *Kryo-Behälter — Verträglichkeit von Gas/Werkstoffen.*

EN 10028-4, *Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen — Teil 4: Nickellegierte kaltzähe Stähle.*

EN 10028-7:2000, *Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen — Teil 7: Nicht rostende Stähle.*

EN 13068-3, *Zerstörungsfreie Prüfung — Radioskopische Prüfung — Teil 3: Allgemeine Grundlagen für die radioskopische Prüfung von metallischen Werkstoffen mit Röntgen- und Gammastrahlen.*

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

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

prEN 13648-3, *Kryo-Behälter — Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung — Teil 3: Ermittlung des erforderlichen Ausflusses, Ausflussmassenstrom und Größenbemessung.*

EN 14197-1, *Kryo-Behälter — Ortsfeste nicht vakuum - isolierte Behälter — Teil 1: Grundsicherungen.*

EN 14197-3, *Kryo-Behälter — Ortsfeste nicht vakuum - isolierte Behälter — Teil 3: Betriebsanforderungen.*

EN ISO 6520-1:1998; *Schweißen und verwandte Prozesse — Einteilung von geometrischen Unregelmäßigkeiten an Metallen — Teil 1: Schmelzschweißen (ISO 6520-1:1998).*

ISO 1106-1:1984, *Recommended practice for radiographic examination of fusion welded joints — Part 1: Fusion welded butt joints in steel plates up to 50 mm thick.*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die folgenden Begriffe zusätzlich zu denen in EN 14197-1.

3.1.1

ortsfester Behälter

Behälter an einem festen Standort zum Füllen, Lagern (unter Druck) und Verteilen tiefkalter Fluide. Der ortsfeste Behälter ist nicht für den Transport flüssiger Produkte vorgesehen

3.1.2

Behälter

Behälter, der für die Aufnahme des tiefkalten Fluids vorgesehen ist

3.1.3

Außenmantel

gasdichte Umhüllung, die den Behälter umfasst

3.1.4

automatisches Schweißen

Schweißen, bei dem die Parameter automatisch überwacht sind. Einige dieser Parameter können für einen Grenzbereich fest eingestellt sein – bei Hand oder automatisch –, damit während des Schweißens die festgelegten Schweißbedingungen beibehalten werden

3.1.5

zulässiger Druck, p_S

maximaler vom Hersteller festgelegte Druck, für den die Ausrüstung bemessen ist, vom Hersteller für einen bestimmten Ort definiert, normalerweise die Lage der Schutz- und Sicherheitseinrichtungen am oberen Teil der Ausrüstung

ANMERKUNG p_S ist äquivalent PS , das im Artikel 1, 2.3 der PED angewendet wird.

3.2 Symbole

ANMERKUNG Innerhalb dieser Norm ist p_S äquivalent PS , das im Artikel 1, 2.3 der PED und p_T ist äquivalent PT , das im Anhang I der PED angewendet wird.

In den folgenden Gleichungen werden nachstehende Symbole und Einheiten benutzt:

c	Zuschlag für Korrosion	mm
d_i	Innendurchmesser eines Rohres oder Stutzens	mm
f	schmale Seite einer rechteckigen oder elliptischen Platte	mm
l_b	Beullänge	mm
n	Anzahl	–
p	Berechnungsdruck wie in 4.2.3.2 f) definiert	bar
p_e	zulässiger Außendruck, begrenzt durch elastisches Einbeulen	bar
p_k	verstärkender Druck	bar
p_p	zulässiger Außendruck, begrenzt durch plastische Verformung	bar
p_T	Druckprüfung (siehe 4.2.3.2)	bar
r	Radius, z. B. innerer Krempenradius eines gewölbten Bodens und von Kegeln	mm
s	erforderliche Wanddicke einschließlich Zuschläge	mm
s_e	ausgeführte Wanddicke	mm
v	Faktor zur Berücksichtigung der Ausnutzung der zulässigen Bemessungsspannung in Fügeverbindungen oder Faktor zur Berücksichtigung von Verschwächungen	–
x	(Abklinglängenbereich) Entfernung, über welche die vorherrschende Spannung entsprechend der Annahme wirkt	mm
A	Fläche	mm ²
A_s	Bruchdehnung	–
C	Berechnungsbeiwerte	–
D	Durchmesser des Grundkörpers	mm
D_a	Außendurchmesser, z. B. einer Zylinderschale	mm
D_i	Innendurchmesser, z. B. einer Zylinderschale	mm
E	Elastizitätsmodul	N/mm ²
I	Flächenträgheitsmoment	mm ⁴
K	Festigkeitskennwert (siehe 4.3.2.3.1)	N/mm ²
K_{20}	Siehe 4.3.2.3.2	
K_t	Siehe 4.3.2.3.3	

K_{design} ein vom Hersteller für einen bestimmten Anwendungsfall festgelegter Wert

R	Krümmungsradius, z. B. innerer Scheitelradius einer Wölbung	mm
S	Sicherheitsbeiwert beim Bemessungsdruck	–
S_k	Sicherheitsbeiwert gegen elastisches Einbeulen beim Bemessungsdruck	–
S_p	Sicherheitsfaktor gegen plastische Verformung beim Bemessungsdruck	–
S_T	Sicherheitsfaktor gegen plastische Verformung beim Dehnungsdruck	–
Z	Hilfswert	–
ν	Querkontraktionszahl	–
U	Unrundheit	–
σ_k	Wert für die Bemessungsspannung	N/mm ²

4 Bemessung

4.1 Möglichkeiten für den Nachweis der Bemessung

4.1.1 Allgemeines

Der Nachweis der Bemessung muss nach einer der Möglichkeiten in 4.1.2, 4.1.3 oder 4.1.4 durchgeführt werden. Bei 9 %-Nickelstahl müssen die zusätzlichen Anforderungen von Anhang B erfüllt werden.

Für Kohlenstoff- und niedrig legierte Stähle müssen die Anforderungen von EN 1252-2 erfüllt werden.

Bei einer weiteren vorgesehenen Anwendung tiefkalter Eigenschaften muss Anhang H berücksichtigt werden.

4.1.2 Rechnerischer Nachweis

Die Berechnung aller druckführenden und lasttragenden Bauteile muss durchgeführt werden. Die Dicken der druckführenden Teile des Behälters und des Außenmantels dürfen nicht kleiner sein, als in 4.3 gefordert. Unter Umständen können zusätzliche Berechnungen erforderlich werden, um die Bemessung für die Betriebsbedingungen einschließlich einer Toleranz für externe Belastungen nachzuweisen (z. B. seismisch).

4.1.3 Rechnerischer Nachweis und Druckverstärkung

Die Druckhaltefähigkeit der Behälter, die aus austenitischem rostfreien Stahl hergestellt wurden mit Druckverstärkung, muss nach Anhang C bemessen werden.

4.1.4 Rechnerischer und experimenteller Nachweis

Wenn ein rechnerischer Nachweis für die Bemessung nicht möglich ist, dürfen planmäßige und kontrollierte experimentelle Mittel angewendet werden unter der Voraussetzung, dass die Ergebnisse die in dieser Europäischen Norm geforderten Bemessungsnormen bestätigen. Ein Beispiel wäre die Anwendung von Dehnungsmessstreifen zur Bewertung der Höhe der mechanischen Beanspruchung.

4.2 Allgemeine Anforderungen für die Bemessung

4.2.1 Allgemeines

Die Anforderungen in 4.2.2 bis 4.2.7 gelten für alle Behälter unabhängig von der für den Nachweis der Bemessung verwendeten Option.

4.2.2 Bemessungsspezifikation

Damit die Bemessung erstellt werden kann, müssen folgende Angaben, die einen bestimmten Behälter definieren, verfügbar sein:

- zulässiger Arbeitsdruck;
- vorgesehene zu verwendende Fluide;
- Flüssigkeitsinhalt;
- Fassungsraum des Behälters;
- Konfiguration;
- Handhabungs- und Sicherungsverfahren;
- örtliche Bedingungen, z. B. Umgebungstemperaturen, Erdbebensicherheit usw.;
- Befüll- und Entnahmeraten;
- Bereich der Betriebstemperaturen.

Es ist eine Bemessungsunterlage in Form von Zeichnungen mit Text zu erstellen, die die obigen Angaben sowie gegebenenfalls Folgendes enthält:

- die Angabe, welche Bauteile durch Berechnung, Druckverstärkung, durch Experiment und aufgrund ausreichender praktischer Erfahrung nachgewiesen sind;
- Zeichnungen mit den Maßen und Dicken der lasttragenden Bauteile;
- die Spezifikation aller lasttragenden Werkstoffe einschließlich Sorte, Klasse, Vergütung, Prüfungen usw., soweit zutreffend;
- die Art der Werkstoffprüfbescheinigungen;
- Ort und genauere Angaben zu den Schweißnähten und anderen Verbindungen, Schweiß- und andere Verbindungsverfahren, Zusatzwerkstoffe, Verbindungsmaterialien usw., soweit zutreffend;
- Berechnungen für den Nachweis, dass diese Norm erfüllt ist;
- Prüfprogramm für den Nachweis der Bemessung;
- Anforderungen für die zerstörungsfreien Prüfungen;
- Anforderungen für die Druckprüfungen;
- Anordnung der Rohrleitungen einschließlich Bauform, Größe und Ort aller Absperrarmaturen und Druckentlastungseinrichtungen;
- genauere Angaben zu den Anhebepunkten und zum Anhebverfahren;
- Wind- und Erdbebenlasten.

4.2.3 Bemessungslasten

4.2.3.1 Allgemeines

Ortsfeste Kryo-Behälter sind üblicherweise nicht für wechselnde Betriebsarten vorgesehen, daher sind Analysen über Dauerbelastungen nicht notwendig.

Der ortsfeste Kryo-Behälter muss sicher den mechanischen und thermischen und chemischen Belastungen, denen er während der Druckprüfung und des bestimmungsgemäßen Gebrauchs ausgesetzt ist, standhalten, wie in 4.2.3.2 bis 4.2.3.7 angegeben.

4.2.3.2 Behälter

Es muss davon ausgegangen werden, dass die folgenden Lasten in Kombination wirken wie in 4.2.3.2 f) festgelegt:

- a) Druck während des Betriebes, wenn der Behälter ein tiefkaltes verflüssigtes Produkt enthält:

$$p_{CL} = p_S + p_L$$

Dabei ist

p_S höchstzulässiger Druck, in bar;

p_L der Druck, in bar, den der Flüssigkeitsinhalt ausübt, wenn der Behälter bis zu seinem Fassungsvermögen gefüllt wird, entweder

- 1) durch eine Siedeflüssigkeit bei Atmosphärendruck, oder
- 2) durch eine tiefkalte Flüssigkeit bei deren ausgeglichenem Trippelpunkt oder Fließpunkttemperatur bei Atmosphärendruck.

p_L darf vernachlässigt werden, wenn er weniger als 5 % von p_S beträgt, andernfalls muss der Druck benutzt werden, der 5 % von p_S überschreitet.

- b) Reaktionen an den Abstützungspunkten des Behälters während des Betriebes, bei dem der Behälter nur tiefkalte verflüssigte Produkte enthält. Die Reaktionen müssen durch die Masse des Behälters, der Masse des maximalen Inhalts der tiefkalten Flüssigkeit und des Dampfes und der Erdbebenlasten – wenn erforderlich – bestimmt werden.
- c) Die Belastung des Behälters an seinen Abstützungspunkten, wenn er sich von der Umgebungs- auf die Betriebstemperatur abkühlt.
- d) Druckprüfung: Der Wert für den Nachweis muss der Größere sein von:

$$p_T = 1,43 \times p_S \text{ oder}$$

$$p_T = 1,25(p_S + p_L)$$

untersucht an jedem Behälterelement, wie z. B. Körper usw.

- e) Belastungen infolge Transport und der örtlichen Erstellung.

- f) Der Behälter muss in der Lage sein, die folgenden Belastungskombinationen auszuhalten. Der Berechnungsdruck p ist gleich dem hier in jeder Kombination 1, 2 und 3 festgelegten Druck:
- 1) Betrieb beim zulässigen Betriebsdruck, wenn der Behälter mit tiefkaltem Medium gefüllt ist:
a) + b) + c);
 - 2) Druckprüfung: d);
 - 3) Transport und Lagerung: h).

Der Behälter muss in der Lage sein, zusätzlich zu den genannten Bedingungen dem Prüfmedium ohne eine gesamte plastische Verformung zu widerstehen.

4.2.3.3 Abstützungen des Behälters

Die Abstützungen des Behälters müssen für die in 4.2.3.2 b) angegebene Belastung plus die Belastungen durch die differentiellen Wärmebewegungen geeignet sein.

4.2.3.4 Anschlagpunkte

Die Anschlagpunkte müssen zum Anheben des ortsfesten Kryo-Behälters geeignet sein und nach dem festgelegten Verfahren angehoben wird.

4.2.3.5 Rohrleitungen und Ausrüstungsteile

Rohrleitungen einschließlich Ventilen, Armaturen und Abstützungen müssen für die folgenden Belastungen bemessen sein, wobei mit Ausnahme von Punkt a) in Betracht gezogen werden muss, dass die Lasten in Kombination wirken:

- a) Druckprüfung: nach 6.5.4.
- b) Druck im Betrieb: Mindestens gleich dem an der Druckentlastungseinrichtung des Systems eingestellten Druck.
- c) Die Belastungen, die durch das Ausströmen bei der Druckentlastung entstehen.
- d) Ein Bemessungsdruck, nicht weniger als der maximal zulässige Druck, p_s des Behälters plus dem Flüssigkeitsdruck.

4.2.4 Korrosionszuschlag

Korrosionszuschlag an Oberflächen, die mit dem Betriebsfluid in Berührung kommen, wird nicht gefordert. An anderen Oberflächen wird kein Korrosionszuschlag gefordert, wenn sie geeignet korrosionsgeschützt sind.

4.2.5 Besichtigungsöffnungen

Besichtigungsöffnungen am Behälter werden nicht gefordert unter der Voraussetzung, dass den Anforderungen in prEN 14197-3 gefolgt wurde.

ANMERKUNG Eine Korrosion an der Innenoberfläche durch die Kombination von Konstruktionswerkstoffen und Betriebsfluiden kann nicht eintreten.

4.2.6 Druckentlastung

4.2.6.1 Allgemeines

Die Druckentlastungsarmaturen müssen EN 13648-1 entsprechen.

Die Druckentlastungsarmaturen müssen so ausgelegt werden, dass sie die Anforderungen von 4.2.6.2 und 4.2.6.3 erfüllen.

4.2.6.2 Behälter

Der Behälter muss mit mindestens einer Druckentlastungsarmatur ausgerüstet sein, um den Behälter gegen Überdruck zu schützen. Praktische Beispiele enthält Anhang D.

Das System muss:

- so bemessen sein, dass es gebrauchstauglich ist;
- von anderen Funktionen unabhängig sein, es sei denn, dass die Sicherheitsfunktion nicht davon beeinflusst ist;
- den Behälterdruck auf 110 % des zulässigen Arbeitsdruckes – bei einer kurzzeitigen Druckspitze – begrenzen;
- ein fehlersicheres Verhalten haben;
- redundante Eigenschaften beinhalten;
- nicht gleichartig wirkende Fehlermechanismen haben (verschiedenartige Mechanismen).

Das Fassungsvermögen der Schutzeinrichtung muss unter Berücksichtigung aller Eventualitäten eines inneren Überdruckes festgelegt werden.

Beispielweise:

- a) Wärmeverlust des Behälters;
- b) Fehler in der Offen-Stellung des so gekennzeichneten Drucküberwachungsventils;
- c) alle anderen in Reihe liegenden Ventile ergeben eine Hochdruckquelle für den Behälter;
- d) Wiederverwendung aller möglichen Kombinationen von Pumpen;
- e) zurückschlagendes Gas und Flüssigkeit aus dem maximalen Fassungsvermögen der Anlage haben Rückwirkung auf einen Behälter, der auf Betriebstemperatur ist.

Der Überdruck aus den Kombinationen der Bedingungen a) bis c) muss auf den höchstzulässigen Arbeitsdruck durch mindestens eine selbstschließende Sicherheitseinrichtung begrenzt sein. Das erforderliche Fassungsvermögen der selbstschließenden Sicherheitseinrichtung kann in Übereinstimmung mit EN 13648-3 berechnet werden.

ANMERKUNG Wenn zusätzlich eine selbstschließende fehlersichere Sicherheitseinrichtungen eingebaut ist, sollte deren Betriebsdruck so gewählt werden, dass ihre Fähigkeit – den Druck abzusperren – beim Betrieb der selbstschließenden Sicherheitseinrichtung bei 100 % des höchstzulässigen Arbeitsdruckes nicht beeinflusst ist, und auf keinen Fall darf der Betriebsdruck über dem Festigkeitsprüfdruck minus 1 bar des Behälterdeckels liegen. Das erforderliche Fassungsvermögen jeder Redundanzeinrichtung sollte gleich dem erforderlichen Fassungsvermögen der Primäreinrichtung sein.

Die Bedingungen für einen von außen einwirkenden Brand sind nur dann zu beachten, wenn dies durch die Lage des Behälters bedingt ist.

Absperrarmaturen oder gleichwertige Einrichtungen dürfen vor Druckentlastungseinrichtungen eingebaut werden, sofern Verriegelungen vorhanden sind, damit sichergestellt ist, dass der Behälter zu jeder Zeit ausreichenden Ausflussmassenstrom hat.

Das Druckentlastungssystem muss so dimensioniert sein, dass der Druckabfall während des Ausströmens voll eintritt und der Druck nicht übermäßig ist und nicht bewirkt, dass das Ventil sofort wieder schließt.

Der Druckabfall in der Leitung der Druckentlastungseinrichtungen sollte den in EN 13648-3 festgelegten Wert nicht überschreiten.

4.2.6.3 Rohrleitungen

Jeder Abschnitt einer Rohrleitung, der tiefkaltes Fluid enthält und abgetrennt werden kann, muss durch eine Entlastungsarmatur oder eine andere geeignete Entlastungseinrichtung geschützt sein.

4.2.7 Absperrarmaturen

4.2.7.1 Allgemeines

Absperrarmaturen müssen EN 1626 entsprechen.

4.2.7.2 Absperrarmaturen

Um ein größeres Auslaufen von Flüssigkeit zu vermeiden, müssen sekundäre Maßnahmen zur Absperrung in Betracht gezogen werden für solche Leitungen, die im tiefsten Punkt des Behälterbodens den Flüssigkeitsstand ausströmen:

- mit einem Bohrungsdurchmesser von über 9 mm und einem Auslass zur Atmosphäre, oder
- mit einem Bohrungsdurchmesser von über 50 mm, wenn sie Bestandteil eines geschlossenen Systems sind.

Die Sekundärmaßnahmen zur Absperrung können innerhalb der Betreiberinstallation sein und müssen ein äquivalentes Schutzniveau haben.

Die Sekundärmaßnahmen zur Absperrung können z. B. durch eine zweite Armatur erreicht werden, die so eingebaut ist, dass sie im Notfall sicher funktioniert, eine automatische, im Fehlerfalle schließende Armatur oder eine Einweg-Armatur oder eine bewegliche Abdeckung am offenen Ende der Leitung.

4.3 Rechnerischer Nachweis

4.3.1 Allgemeines

Wenn die Bemessung durch rechnerischen Nachweis nach 4.1.2 erfolgt, müssen die Wanddicken des Behälters und des Außenmantels mindestens gleich den in diesem Abschnitt bestimmten sein.

4.3.2 Behälter

4.3.2.1 Allgemeines

Die in 4.3.2.2 und 4.3.2.3 enthaltenen Angaben müssen zur Ermittlung der Dicke der druckführenden Teile zusammen mit den Berechnungs-Gleichung in 4.3.5 angewendet werden.

4.3.2.2 Werkstoffeigenschaften und Bemessungslasten

- a) in Übereinstimmung mit 4.2.3.2 f) 1)

Werkstoffeigenschaften, die entweder nach 4.3.2.3.2 oder nach 4.3.2.3.3 bestimmt wurden, müssen auf Veranlassung des Behälter-Herstellers übernommen werden.

- b) in Übereinstimmung mit 4.2.3.2 f), 2), 3)

Werkstoffeigenschaften, die nach 4.3.2.3.2 bestimmt wurden, müssen übernommen werden.

4.3.2.3 Festigkeitskennwert K

4.3.2.3.1 Allgemeines

Der bei den Berechnungen zu verwendende Festigkeitskennwert K muss

- für austenitischen nicht rostenden Stahl und Aluminium: die 1-%-Dehngrenze,
- für alle anderen Werkstoffe die Streckgrenze, wenn nicht vorhanden die 0,2-%-Dehngrenze sein.

ANMERKUNG Der obere Wert der Streckgrenze sollte angewendet werden.

4.3.2.3.2 K_{20}

K muss der der Werkstoffnorm entnommene Mindestwert bei 20 °C sein; siehe Anhang H.

4.3.2.3.3 K_t

Der zulässige Wert von K muss für den Werkstoff bei Betriebstemperatur bestimmt werden, die der Sättigungstemperatur – bei dem höchstzulässigen Behälterdruck – des eingefüllten tiefkalten Mediums entspricht. Der Wert für K und E muss durch die Werkstoff-Norm (siehe EN 10028-7:2000, Anhang F für austenitische rostfreie Stähle) bestimmt oder muss vom Werkstoffhersteller garantiert werden.

4.3.3 Abstützungen, Anschlagpunkte und Gestell

Die Abstützungen und das Gestell müssen für die Belastungen nach 4.2.3 bemessen sein, wobei bewährte Bemessungsverfahren und Sicherheitsbeiwerte anzuwenden sind.

Bei der Bemessung des Abstützsystems für den Behälter dürfen für die jeweiligen Bauteile die mechanischen Werkstoffeigenschaften bei der Temperatur verwendet werden, die sich ergibt, wenn der Behälter bis zum Fassungsvermögen mit tiefkaltem Fluid gefüllt ist.

4.3.4 Rohrleitungen

Die Rohrleitungen müssen für die in 4.2.3.5 definierten Belastungen bemessen werden, wobei bewährte Bemessungsverfahren und Sicherheitsfaktoren zu benutzen sind.

4.3.5 Berechnungs-Gleichungen

4.3.5.1 Zylinder- und Kugelschalen unter innerem Überdruck (Druck auf die konkav gewölbte Oberfläche)

4.3.5.1.1 Anwendungsbereich

Zylindrische und kugelförmige Schalen mit

$$\frac{D_a}{D_i} \leq 1,2$$

4.3.5.1.2 Öffnungen

Zur Verschwächungen von Öffnungen siehe 4.3.5.7.

4.3.5.1.3 Berechnung

Die geforderte Mindestwanddicke s beträgt

— für Zylinderschalen

$$s = \frac{D_a p}{20 (K/S) v + p} + c \quad (1)$$

— für Kugelschalen

$$s = \frac{D_a p}{40 (K/S) v + p} + c \quad (2)$$

4.3.5.2 Gewölbte Böden unter innerem und äußerem Überdruck

4.3.5.2.1 Anwendungsbereich

Halbkugelböden mit $D_a/D_i \leq 1,2$

10%ige Klöpperböden mit $R = D_a$ und $r = 0,1 D_a$

und

Korbbogenböden mit 2 : 1 $R = 0,8 D_a$ und $r = 0,154 D_a$

Im Falle torisphärischer Böden gilt $0,001 \leq (s - c)/D_a \leq 0,1$

ANMERKUNG Andere torisphärische Bodenformen dürfen verwendet werden, wenn entsprechende Berechnungen durchgeführt werden.

4.3.5.2.2 Zylindrischer Bord

Die Höhe des zylindrischen Bordes h_1 (Bild 4 a) muss

— für 10%ige Klöpperböden 3,5 s ;

— für Korbbogenböden mit 2 : 1, 3,0 s

betragen. Die Bordhöhe darf kürzer sein, wenn im Falle von Behältern die Rundnahtverbindung zwischen gewölbten Böden und Zylinder, wie für einen Schweißnahtfaktor von 1,0 gefordert, zerstörungsfrei geprüft wird.

ANMERKUNG Andere geflanschte/geschweißte Konfigurationen können verwendet werden, wenn geeignete Berechnungen durchgeführt wurden.

4.3.5.2.3 Zwischendeckel

Deckel ohne Dickenbegrenzung dürfen entsprechend den Anforderungen von Bild E.2 eingebaut werden. Der Außendurchmesser des Deckelrandes muss gegenüber den anstoßenden Abschnitten des Behälters eng toleriert sein.

Die Stumpf- und Kehlnaht muss adäquat bemessen sein, damit sie allen relevanten Drücken, mechanischen und thermischen Belastungen standhält. Dies kann durch eine genaue detaillierte Spannungsanalyse erreicht werden und bei Übernahme der Kriterien von Anhang A.

Wenn nur Druckspannungen vorhanden sind, kann eine vereinfachte Annahme wie folgt übernommen werden, dass die Stumpf- und Kehlnaht so bemessen sind, dass sie eine Scher-Belastung aushalten, die gleich $1,5 \times$ dem maximalen Differenzdruck quer über dem Deckel ist, multipliziert mit der Querschnittsfläche des Körpers.

Die zulässige Scherbeanspruchung in diesem Fall sollte nicht $K/3$ übersteigen, wo die Fläche der Stumpfnahht bei der Scherung die Breite der Schweißwurzelnaht mal der Umfangslänge der Schweißnaht und die Fläche der Kehlnahht bei Nahtdicke mal der Umfangslänge der Schweißnaht ist.

Wenn die Spannungen in den Anschweißteilen vollständig analysiert und bewertet sind in Übereinstimmung mit Anhang A, kann die Kehlnahht vernachlässigt werden. In anderen Fällen muss die Kehlnahht voll berücksichtigt werden.

4.3.5.2.4 Berechnung bei innerem Überdruck (Druck auf die konkav gewölbte Oberfläche)

4.3.5.2.4.1 Dicke der Kalotte und der Halbkugel

Die Wanddicke des Kalottenteils gewölbter Böden und Halbkugelböden muss entsprechend 4.3.5.1.3 $D_a = 2 (R + s)$ ermittelt werden.

Ausschnitte im Scheitelbereich von $0,6 D_a$ torisphärischer Böden und in Halbkugelböden müssen entsprechend 4.3.5.7 verstärkt werden. Bei Verwendung scheibenförmiger Verstärkungen darf der Scheibenrand den Bereich von $0,8 D_a$ für 10%ige Klöpperböden und $0,7 D_a$ für Korbbogenböden mit 2 : 1 nicht überschreiten.

4.3.5.2.4.2 Wanddicke von torisphärischen Böden und Dicke des Halbkugelanschlusses

Die geforderte Wanddicke von Krempen und Halbkugelanschlüssen muss sein:

$$s = \frac{D_a p \beta}{40 (K / S) v} + c \quad (3)$$

Bei Vollböden in Halbkugelform muss ein β -Wert von 1,1 innerhalb des Abstands x der Tangente des Bodens an den Zylinder benutzt werden, hier gilt:

$$x = 0,5 \sqrt{R(s - c)}$$

β wird in Abhängigkeit von $(s - c) / D_a$ für 10 %-Klöpperböden Bild 5 und für 2 : 1-Korbbogenböden Bild 6 als Funktion $(s - c) / D_a$ entnommen. Dabei ist Iteration erforderlich.

Befinden sich Ausschnitte außerhalb des Bereichs von $0,6 D_a$, so ergibt sich die geforderte Dicke mit β aus Bild 5 und 6 unter Verwendung der entsprechenden Kurve für den betreffenden Wert von d_i / D_a .

Faktor β kommt aus den unteren Kurven in Bild 5 und Bild 6, wenn der Bereich außerhalb von $0,6 D_a$ nicht durch Ausschnitte verschwächt ist.

D_a ist der Durchmesser des zylindrischen Bords, wie in Bild 4 a) und Bild 4 b) dargestellt.

4.3.5.2.4.3 Wird ein gewölbter Boden aus Kalotten- und Halbkugelkomponenten zusammengeschweißt, muss die Naht in einem ausreichenden Abstand vom Krempenrand liegen. Der genannte Abstand gilt nachfolgend als ausreichend, er muss jedoch mindestens 100 mm betragen (siehe Bild 4 c).

— Kalotte und Halbkugel haben unterschiedliche Wanddicken:

$$x = 0,5 \sqrt{R(s - c)}$$

hierin ist s die geforderte Wanddicke der Halbkugel

— Kalotte und Halbkugel haben gleiche Wanddicken

— für 10 %-Klöpperböden: $x = 3,5 s$

— für 2 : 1-Korbbogenböden: $x = 3,0 s$

- $V = 1,0$ kann angewendet werden oder bei einteiligen Böden – wenn die Anwendung der Prüfung dem festgelegten Bemessungsniveau entspricht, welches gleich dem zulässigen Bemessungsniveau ist.
- $V = 1,0$ kann auch bei einem geschweißten gewölbten Boden angewendet werden – mit Ausnahme bei Halbkugelböden – unabhängig vom Anwendungsbereich der Prüfung, vorausgesetzt, dass die Ausschnitte im Scheitelbereich von $0,6 D_a$ liegen, siehe Bilder 4 e) und 4 f) (linke Seite).

4.3.5.2.4.4 Befindet sich der Steg auf der Verbindungslinie zwischen benachbarten Ausschnitten nicht vollständig im Bereich von $0,6 D_a$, so muss die Mindeststegbreite mindestens gleich der Summe der halben Ausschnittsdurchmesser sein.

4.3.5.3 Kegelförmige Mäntel unter innerem Überdruck

4.3.5.3.1 Symbole und Einheiten

Für die Anwendung von 4.3.5.3 gelten die folgenden Symbole und Einheiten zusätzlich zu denen in 3.2.

A	Fläche des Versteifungsrings	mm^2
D_{a1}	Außendurchmesser des angeschlossenen Zylinders (Bild 7)	mm
D_{a2}	Außendurchmesser an der wirksamen Versteifung (Bild 9)	mm
D_k	Bemessungsdurchmesser (Bild 7)	mm
D_s	Manteldurchmesser am Stutzen (Bild 8)	mm
I	Trägheitsmoment, bezogen auf die Achse parallel zum Mantel	mm^4
l	Kegellänge zwischen wirksamen Versteifungen (Bild 9)	mm
s_g	geforderte Wanddicke außerhalb des Abklingbereichs	mm
s_l	geforderte Wanddicke innerhalb des Abklingbereichs	mm
x_i	Abklinglängen ($i = 1, 2, 3$) für die Definition des Eckbereichs (Bild 7 a) und Bild 7 b) und 4.3.4.3.5)	mm
φ	Kegelöffnungswinkel	—
r	Krempenradius	mm

4.3.5.3.2 Anwendungsbereich

Kegel nach Bild 7 mit

$$0,001 \leq \frac{s_g - c}{D_{a1}} \leq 0,1$$

und

$$0,001 \leq \frac{s_l - c}{D_{a1}} \leq 0,1$$

Kleine Böden mit Krempe, die durch Eckstoß verbunden sind, können hiernach beurteilt werden.

Für den äußerem Überdruck gilt $|\varphi| \leq 70^\circ$.

Andere kegelförmige Mäntel dürfen angewendet werden unter der Voraussetzung, dass geeignete Berechnungen durchgeführt wurden.

4.3.5.3.3 Ausschnitte

Abschnitte außerhalb des Abklingbereichs (Bild 8) müssen wie folgt berechnet werden:

Bei $|\varphi| < 70^\circ$ ist nach 4.3.5.7 zu berechnen unter Verwendung eines äquivalenten Zylinderdurchmessers

$$D_i = \frac{D_s + d_i |\sin \varphi|}{\cos \varphi}$$

Bei $|\varphi| \leq 70^\circ$ ist nach 4.3.5.7 zu berechnen.

4.3.5.3.4 Zerstörungsfreie Prüfungen

Alle Eckstoßverbindungen müssen der Untersuchung unterzogen werden, die für einen Schweißnahtfaktor 1,0 gefordert wird (siehe Tabelle 6 in Abschnitt 6).

4.3.5.3.5 Abklingbereich

Der Abklingbereich ist der Teil des Kegels, in dem die vorherrschenden Spannungen Biegespannungen in Längsrichtung sind.

Der Abklingbereich ist in den Bildern 7 a) und 7 b) durch x_1 , x_2 , x_3 definiert, die aus folgenden Gleichungen berechnet werden können:

$$x_1 = \sqrt{D_{a1} (s_1 - c)} \quad (4)$$

$$x_2 = 0,7 \sqrt{D_{a1} (s_1 - c) / \cos \varphi} \quad (5)$$

$$x_3 = 0,5 x_1 \quad (6)$$

4.3.5.3.6 Berechnung bei innerem Überdruck bei $|\varphi| \leq 70^\circ$ (Druck auf die konkav gewölbte Oberfläche)

a) Innerhalb des Abklingbereichs

Die unter Verwendung der Variablen

$$|\varphi|, \frac{pS}{15 K_V} \text{ und } \frac{r}{D_{a1}}$$

aus den Bildern 10.1 bis 10.7 für den großen Kegelmantel/-Boden und Bild 10.8 für den kleinen Kegelmantel/-Boden berechnete geforderte Wanddicke (s_1) innerhalb des Abklingbereichs muss mindestens gleich der nach den Gleichungen berechneten geforderten Wanddicke s_g außerhalb des Abklingbereichs sein.

Für eine Eckstoßverbindung ist die Kurve für r/D_{a1} zu benutzen.

Die Zwischenwerte der Kegelwinkel (φ) sind linear zu interpolieren.

Die Wanddicke s_1 im Abklingbereich muss mindestens gleich der geforderten Dicke s_g wie in Gleichung (7) angegeben sein:

b) Außerhalb des Abklingbereichs

Die geforderte Wanddicke s_g außerhalb des Abklingbereichs wird berechnet nach

$$s_g = \frac{D_k p}{20 \frac{K}{S} v - p} \times \frac{1}{\cos \varphi} + c \quad (7)$$

Dabei ist

für den großen Mantel $D_k = D_{a1} - 2 [s_1 + r (1 - \cos \varphi) + x_2 \sin \varphi]$,

für den kleinen Mantel D_k der größte Durchmesser des Kegels, bei dem die Wanddicke gleich s_g ist.

4.3.5.3.7 Berechnung bei innerem Überdruck und bei $\varphi > 70^\circ$ (Druck auf die konkav gewölbte Oberfläche)

Bei $r \geq 0,01 D_{a1}$ ist die geforderte Wanddicke

$$s_1 = s_g = 0,3 (D_{a1} - r) \times \frac{|\varphi|}{90} \times \sqrt{\frac{p}{10 (K / S) v}} + c \quad (8)$$

4.3.5.4 Ebene Böden/Platten

4.3.5.4.1 Symbole

Für die Anwendung von 4.3.5.4 gelten die folgenden Symbole zusätzlich zu den in 3.2:

$d_1, d_2, \dots$ Durchmesser von Ausschnitten in mm;

$D_1, D_2 \dots$ Durchmesser von ebenen Böden in mm.

4.3.5.4.2 Anwendungsbereich

Geschweißte oder massive ebene Böden mit

$$\frac{(s - c)}{D} \geq 4 \sqrt{\frac{0,0087 p}{E}}$$

und

$$\frac{(s - c)}{D} \leq \frac{1}{3}$$

4.3.5.4.3 Ausschnitte

Ausschnitte werden nach 4.3.5.4.4 berechnet, wobei jedoch der Faktor C mit C_A zu multiplizieren ist. C_A ist in Bild 11 angegeben.

4.3.5.4.4 Berechnung

Die geforderte Mindestwanddicke eines kreisförmigen ebenen Bodens beträgt

$$s = CD_1 \sqrt{\frac{0,1pS}{K} + c} \quad (9)$$

C und D_1 sind Bild 12 zu entnehmen.

Die geforderte Mindestwanddicke einer rechteckigen oder elliptischen Platte beträgt

$$s = CD_E f \sqrt{\frac{0,1pS}{K} + c} \quad (10)$$

C_E ist Bild 13 zu entnehmen.

4.3.5.5 Ausschnitte in Zylindern, Kugeln und Kegeln

4.3.5.5.1 Symbole und Einheiten

Für die Anwendung von 4.3.5.5 gelten die folgenden Symbole zusätzlich zu den in 3.2:

b	Breite der aufgesetzten, eingesetzten oder rohrförmigen Verstärkung	mm
h	Höhe der scheibenförmigen Verstärkung	mm
l	Steg zwischen zwei Stützen	mm
l'_s	mittragende Stützenlänge	mm
m	innerer Rohrüberstand	mm
s_A	geforderte Wanddicke am Ausschnittsrand	mm
s_s	Wanddicke des Stützens	mm
t	hier: Mittenabstand zweier Stützen	mm

4.3.5.5.2 Anwendungsbereich

Runde Ausschnitte und die Verstärkung runder Ausschnitte mit unbegrenztem Durchmesser in Zylinder- und Kugelmänteln in den folgenden Grenzen:

$$0,002 \leq \frac{(s-c)}{D_a} \leq 0,1$$

$$\frac{(s-c)}{D_a} \leq 0,002 \text{ ist zulässig, wenn } \frac{d_i}{D_a} \leq \frac{1}{3} \text{ ist.}$$

Diese Regeln gelten nur für Kegelmäntel, deren Wanddicke aus der Umfangsspannung ermittelt wird.

ANMERKUNG 1 Zusätzliche äußere Kräfte und Momente werden in diesem Abschnitt nicht behandelt und müssen erforderlichenfalls besonders untersucht werden.

ANMERKUNG 2 Diese Bemessungsregeln gestatten plastische Verformungen bis zu 1 % bei Prüfdruck an hochbeanspruchten Stellen. Deshalb sollen die Ausschnitte sehr sorgfältig bemessen werden, und plötzliche Änderungen der Geometrie sind zu vermeiden.

Die Bemessungsregeln für nicht senkrechte Stützen müssen auf denen von senkrechten Stützen beruhen, unter Verwendung der Maße der großen elliptischen Achse oder sie müssen nach EN 13445-3 berechnet werden.

4.3.5.5.3 Formen der Verstärkungen

Ausschnitte dürfen nach einem oder mehreren der folgenden Formen verstärkt werden:

- Vergrößerung der Wanddicke, siehe Bild 14 und 15;
- eingesetzte ringförmige Verstärkungen, siehe Bild 16 und 17;
- aufgesetzte Verstärkung, siehe Bild 18;
- rohrförmige Verstärkung, siehe Bild 19 und 20;
- scheiben- und rohrförmige Verstärkung, siehe Bild 21.

Wenn eine ring- oder scheibenförmige Verstärkung am Behälter eingesetzt wird, muss der Raum zwischen den beiden Kehlnähten nach außen entlüftet werden.

4.3.5.5.4 Bemessung von Ausschnitten

Die Kehlnaht an einer scheibenförmigen Verstärkung muss mindestens halb so dick sein wie die Höhe der Verstärkung.

Bei rohrförmigen Verstärkungen muss die tragende Schweißnahtdicke mindestens gleich der erforderlichen Dicke der dünneren angeschlossenen Wandung sein.

Ist der Festigkeitskennwert für die Verstärkung kleiner als der entsprechende Wert für die zu verstärkende Wand, so ist dies bei der Berechnung nach 4.3.5.5.5 zu berücksichtigen. Ist der Festigkeitskennwert für die Verstärkung größer als der für die zu verstärkende Wand, so darf der höhere Festigkeitskennwert nicht berücksichtigt werden.

4.3.5.5.5 Berechnung

Wenn der Festigkeitskennwert K der Verstärkung kleiner als der der Wand ist, so ist bei scheibenförmigen Verstärkungen die Fläche des Verstärkungsquerschnittes und bei rohrförmigen Verstärkungen die Wanddicke des Stutzens im entsprechenden Verhältnis zum Rechnungsgang zu reduzieren.

Wenn $v_A < v$ muss der Wert für der Wanddicke s_A nach Gleichung (19) für die in Reihe angeordneten Stützen entnommen werden.

Ausschnitte können auch entsprechend folgender Beziehung verstärkt werden:

$$\frac{p}{10} \left(\frac{A_p}{A_\sigma} + \frac{1}{2} \right) \leq \frac{K}{S} \quad (11)$$

die auf dem Gleichgewicht zwischen der druckbelasteten Fläche A_p und dem tragenden Querschnitt A_σ basiert. Die mit Hilfe dieser Beziehung ermittelte Wanddicke darf nicht kleiner sein als für die Behälterwand ohne Ausschnitte erforderlich ist. Die druckbelastete Fläche A_p und der tragende Querschnitt A_σ , der gleich $A_{\sigma 0} + A_{\sigma 1} + A_{\sigma 2}$ ist, ergeben sich aus Bild 22 bis 26. Die tragende Querschnittsfläche darf sich für Mäntel höchstens bis b nach Gleichung (13) und für Stützen höchstens bis l_s nach Gleichung (15) oder (16) erstrecken.

Bei einem nach innen überstehenden Stutzenteil darf als tragende Querschnittsfläche bis zu einer größten Länge

$$l'_s = 0,5 l_s$$

einbezogen werden.

Die Beschränkungen nach 4.3.5.5.7 und 4.3.5.5.8 müssen beachtet werden.

Ist der Festigkeitskennwert K_1 , K_2 , u.s.w. der Verstärkung niedriger als der für die Wand, müssen die Maße die Beziehung

$$\left(\frac{K}{S} - \frac{p}{20}\right) A_{\sigma 0} + \left(\frac{K_1}{S} - \frac{p}{20}\right) A_{\sigma 1} + \left(\frac{K_2}{S} - \frac{p}{20}\right) A_{\sigma 2} \geq \frac{p}{10} \cdot A_p \quad (12)$$

erfüllen.

4.3.5.5.6 Ring- oder scheibenförmige Verstärkung

Ist die tatsächliche Wanddicke des Zylinders oder der Kugel kleiner als die geforderte Dicke s_A am Ausschnitt, dann genügt es, wenn die Wanddicke s_A in einer Breite von

$$b = \sqrt{(D_i + s_A - c)(s_A - c)} \quad (13)$$

mindestens jedoch $3 \times s_A$ um den Ausschnitt vorhanden ist (siehe Bild 16, 17 und 18).

Die Wanddicke der aufgesetzten Verstärkung nach Bild 18 darf nicht größer sein als die tatsächliche Dicke der Wand, auf welche die Verstärkung aufgetragen ist.

Von innen aufgesetzte Verstärkung ist nicht zulässig.

Für Berechnungszwecke muss s_A auf höchstens das Zweifache der tatsächlichen Wanddicke begrenzt sein.

Die Breite der aufgesetzten Verstärkung darf auf b_1 verringert werden, wenn die Scheibenhöhe h_1 entsprechend

$$b_1 h_1 \geq b h \quad (14)$$

verringert wird und die oben angegebenen Grenzen eingehalten werden.

4.3.5.5.7 Rohrförmige Verstärkung

Für die Berechnungszwecke darf s_s nicht mehr als 2-mal die tatsächliche Wanddicke sein.

Die Stützenwanddicke darf nicht mehr als 2-mal die tatsächliche Wanddicke des Behälters sein.

Die Wanddicke s_A am Ausschnitt muss über eine Breite b nach Gleichung (13) berechnet mindestens gleich $3 s_A$ sein.

Die Grenzen für die Verstärkung am Behälter sind:

$$\text{— für Zylinder und Kegel} \quad l_s = 1,25 \sqrt{(d_i + s_s - c)(s_s - c)} \quad (15)$$

$$\text{— für Kugeln} \quad l_s = \sqrt{(d_i + s_s - c)(s_s - c)} \quad (16)$$

Der Abstand l_s darf auf l_{s1} verringert werden, wenn die Dicke s_s entsprechend

$$l_{s1} s_{s1} \geq l_s s_s \quad (17)$$

auf s_{s1} erhöht wird und die genannten Grenzen sind zu beobachten.

4.3.5.5.8 Verstärkung durch Kombination von scheiben- und rohrförmiger Verstärkung

Scheiben- und rohrförmige Verstärkungen können gemeinsam zur Ausschnittsverstärkung herangezogen werden (Bild 21). Für die Berechnung der Verstärkung sind 4.3.5.5.6 und 4.3.5.5.7 zusammen anzuwenden. Die Erhöhung der Wanddicke kann durch eine aktuelle Erhöhung in der Wanddicke oder durch Zugabe einer Scheibe erreicht werden.

4.3.5.5.9 Mehrfachausschnitte

Mehrfache Ausschnitte gelten als Einzelausschnitte, wenn der Abstand l zwischen zwei benachbarten Ausschnitten nach Bild 9 und Bild 11 folgende Beziehung erfüllt:

$$l \geq \sqrt{(D_i + s_A - c)(s_A - c)} \quad (18)$$

Ist l kleiner als nach Gleichung (18) erforderlich, so muss geprüft werden, ob der zwischen den Ausschnittsrändern verbleibende Restquerschnitt der auf ihn wirkenden Belastung standhält. Die Verstärkung ist ausreichend, wenn die entsprechende Anforderung von Gleichung (11) bzw. (12), soweit zutreffend, erfüllt ist.

Wenn die angrenzenden Ausschnitte unmittelbar zwischen der Längs- und Umfangsrichtung liegen, muss das Berechnungsverfahren für die Längsrichtung (Bild 26) angewendet werden, aber die druckbeaufschlagten

Teile – entsprechend dem einteiligen Behälter $\left(\frac{tD_i}{2}\right)$ – können um einen Faktor $= 0,5 (1 + \cos 2 \varphi)$ reduziert werden.

Winkel φ siehe Bild 25.

Bei in Reihe angeordneten Ausschnitten mit volltragend angeschlossenen Rohren, deren Wanddicke nur nach der Innendruck-Gleichung bemessen ist, kann als Verschwächungsbeiwert eingesetzt werden:

$$v_A = \frac{(t - d_i)}{t} \quad (19)$$

Bei nicht volltragend angeschlossenen Rohren ist D_a in die Gleichung (19) einzusetzen.

4.3.6 Berechnungen für Betriebslasten

Ist das Bemessungsmerkmal durch Experiment nachgewiesen worden, so können zusätzliche Berechnungen zu denen in 4.3.5 erforderlich sein, um sicherzustellen, dass die Spannungen durch die Betriebsbelastungen innerhalb der zulässigen Grenzen liegen. Es müssen alle während des Betriebes zu erwartenden Belastungsbedingungen berücksichtigt werden (siehe 4.2.3).

Bei diesen Berechnungen werden statische Belastungen durch statische plus dynamische Belastungen ersetzt.

Die Analyse muss die gesamten strukturellen Unstetigkeiten berücksichtigen, jedoch keine örtlichen Spannungskonzentrationen.

Anhang A liefert die Begriffe und annehmbare Spannungsgrenzen, wenn eine Analyse für elastische Spannungen durchgeführt wurde.

Zulässige Berechnungsverfahren sind z. B.:

- das Finite-Elemente-Verfahren;
- das Differenzengleichungsverfahren;
- das Randelementverfahren;
- anerkannte Lehrbücher, veröffentlichte Berichte, Regeln und Normen.

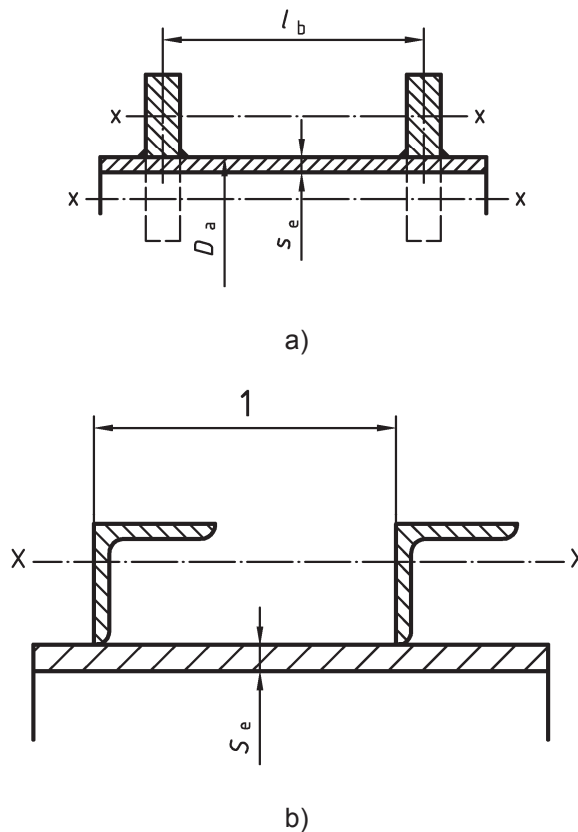


Bild 1 — Rechteckringe als Versteifung

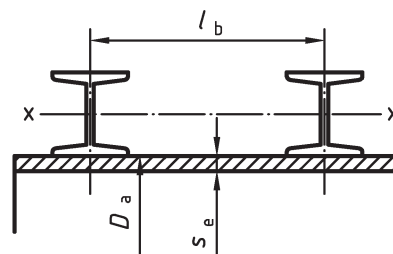


Bild 2 — Profilringe als Versteifung

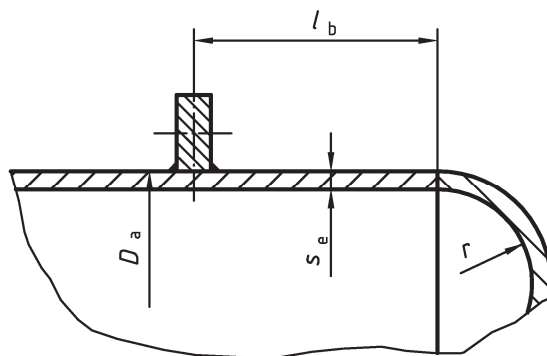


Bild 3 — Gewölbter Boden

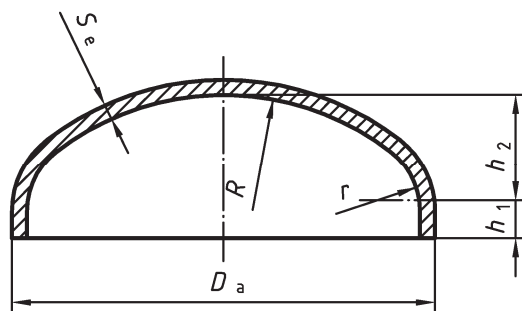


Bild 4 a) — Gewölbter Vollboden

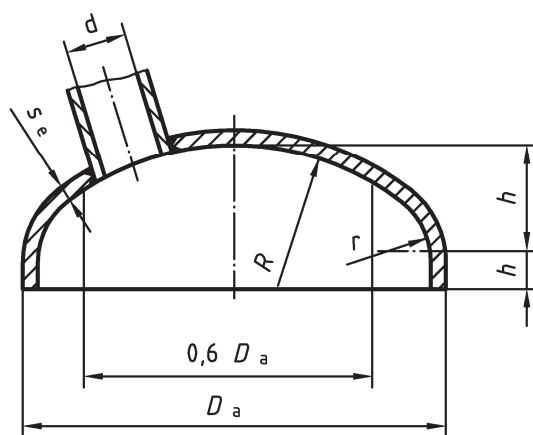


Bild 4 b) — Gewölbter Boden mit Stützen

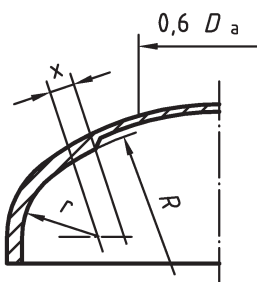
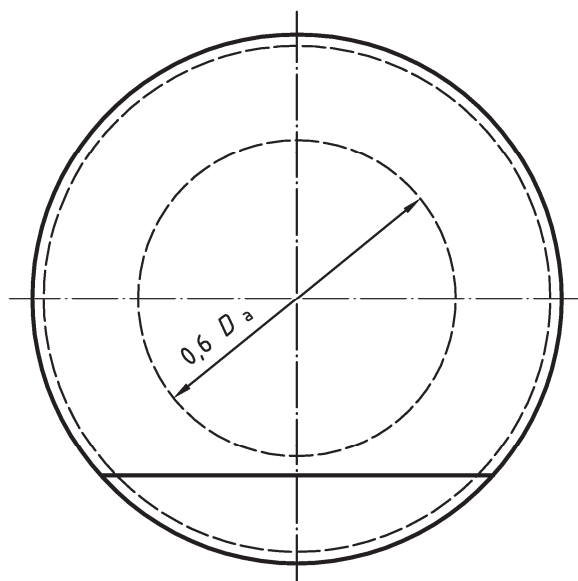
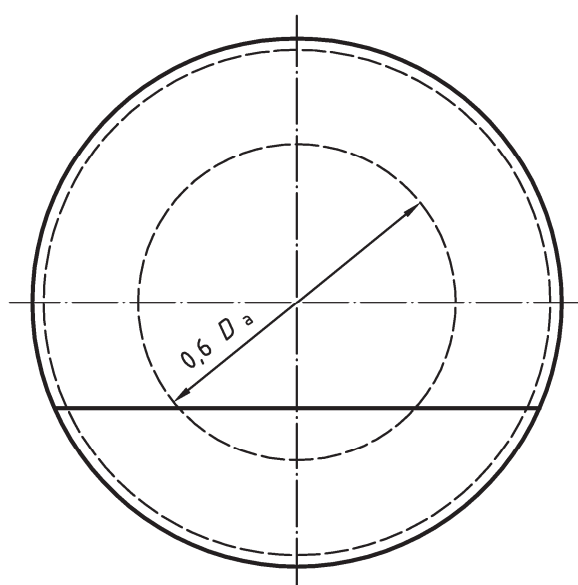


Bild 4 c) — Böden mit Kalotte und Halbkugel von unterschiedlicher Wanddicke



$v = 0,85$ oder $1,0$

Bild 4 d) — Nähte im Bereich von $0,6 D_a$



$v = 1,0$

Bild 4 e) — Nähte außerhalb eines Bereiches von $0,6 D_a$