

	Kryo-Behälter Ortsbewegliche, vakuum-isolierte Behälter mit einem Fassungsraum von nicht mehr als 1000 Liter Teil 2: Bemessung, Herstellung und Prüfung Deutsche Fassung EN 1251-2 : 2000	DIN EN 1251-2
ICS 23.020.40 Cryogenic vessels — Transportable vacuum insulated vessels of not more than 1000 litres volume — Part 2: Design, fabrication, inspection and testing; German version EN 1251-2 : 2000 Réipients cryogeniques — Réipients transportables, isolés sous vide, d'un volume n'excédant pas 1000 litres — Partie 2: Calcul, fabrication, inspection et essai; Version allemande EN 1251-2 : 2000 Die Europäische Norm EN 1251-2 : 2000 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit EN 1251-2 : 2000 wurde am 19. Juni 1999 angenommen. Nationales Vorwort Die vorliegende Europäische Norm EN 1251-2 wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 268 „Kryo-Behälter“ erarbeitet. Fortsetzung 58 Seiten EN Normenausschuß Druckgasanlagen (NDG) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.		

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Kryo-Behälter

**Ortsbewegliche, vakuum-isolierte Behälter mit einem
Fassungsraum von nicht mehr als 1000 Liter**

Teil 2: Bemessung, Herstellung und Prüfung

Cryogenic vessels — Transportable vacuum insulated
vessels of not more than 1000 litres volume — Part 2:
Calcul, fabrication, inspection and testing

Réipients cryogeniques — Réipients transportables,
isolés sous vide, d'un volume n'excédant pas 1000 litres
— Partie 2: Calcul, fabrication, inspection et essai

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 19. Juni 1999 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 Zentralsekretariat 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 Zentralsekretariat 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, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation

Zentralsekretariat: rue de Stassart 36, B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite		Seite
Vorwort	3	5.4.1 Allgemeines	41
1 Anwendungsbereich	3	5.4.2 Austenitischer nichtrostender Stahl	41
2 Normative Verweisungen	3	5.4.3 Aluminium oder Aluminiumlegierung	41
3 Definitionen und Symbole	4	5.5 Fertigungstoleranzen	41
3.1 Definitionen	4	5.5.1 Kantenversatz von Blechen	41
3.2 Symbole und Einheiten	4	5.5.2 Wanddicke	41
4 Bemessung	4	5.5.3 Gewölbte Böden	41
4.1 Möglichkeiten für den Nachweis der Bemessung	4	5.5.4 Zylinder	41
4.1.1 Rechnerischer Nachweis	4	5.6 Schweißen	42
4.1.2 Experimenteller Nachweis	4	5.6.1 Eignung	42
4.1.3 Rechnerischer und experimenteller Nachweis	5	5.6.2 Anschweißteile	42
4.2 Allgemeine Anforderungen für die Bemessung	5	5.6.3 Schweißverbindungen	42
4.2.1 Allgemeines	5	5.7 Andere Verbindungen als Schweißverbindungen	43
4.2.2 Bemessungsspezifikation	5	6 Prüfung	43
4.2.3 Bemessungslasten	5	6.1 Qualitätssicherung	43
4.2.4 Zuschlag für Korrosion	6	6.1.1 Allgemeines	43
4.2.5 Besichtigungsöffnungen	6	6.1.2 Prüfschritte bei der Fertigung eines Innenbehälters	43
4.2.6 Druckentlastung	6	6.1.3 Zusätzliche Prüfschritte bei der Fertigung eines ortsbeweglichen Kryo-Behälters	43
4.2.7 Absperrarmaturen	7	6.2 Probebleche für die Arbeitsprüfungen	43
4.3 Rechnerischer Nachweis	7	6.2.1 Anforderungen	43
4.3.1 Allgemeines	7	6.2.2 Prüfungen	43
4.3.2 Innenbehälter	7	6.3 Zerstörungsfreie Prüfungen	43
4.3.3 Außenmantel	7	6.3.1 Allgemeines	43
4.3.4 Abstützungen, Anschlagpunkte und Gestell	8	6.3.2 Umfang der Prüfungen auf Oberflächenfehler	43
4.3.5 Schutzvorrichtungen	8	6.3.3 Umfang der Prüfungen auf innere Fehler	46
4.3.6 Rohrleitungen	8	6.3.4 Bewertungskriterien	46
4.3.7 Berechnungsformeln	8	6.4 Ausbesserung von Fehler	46
4.3.8 Berechnungen für Betriebslasten	13	6.4.1 Allgemeines	46
4.4 Bemessung durch experimentellen Nachweis	13	6.4.2 Von Hand geschweißte Nähte	46
4.4.1 Allgemeines	13	6.4.3 Durch automatische Schweißverfahren hergestellte Schweißnähte	46
4.4.2 Verfahren für das experimentelle Prüfprogramm	13	6.5 Druckprüfungen	46
4.4.3 Prüfungen für die Drucksicherheit	13	Anhang A (informativ) Elastische Spannungsanalyse	47
4.4.4 Prüfungen für die Konstruktionssicherheit	14	Anhang B (informativ) Empfohlene Angaben zum Schweißen	54
4.4.5 Prüfbedingungen	14	Anhang C (normativ) Zusätzliche Anforderungen für brennbare Gase	57
5 Herstellung	40	Anhang D (normativ) Schutzeinrichtungen für den Außenmantel	58
5.1 Allgemeines	40	Literaturhinweise	58
5.2 Schneiden	40		
5.3 Kaltumformen	40		
5.3.1 Austenitischer nichtrostender Stahl	40		
5.3.2 Ferritischer Stahl	41		
5.3.3 Aluminium oder Aluminiumlegierung	41		
5.4 Warmumformen	41		

Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 268 „Cryogene Behälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muß den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juli 2000, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juli 2000 zurückgezogen werden.

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, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

Diese Europäische Norm wurde zur Bezugnahme ins RID und/oder in die technischen Anhänge des ADR vorgeschlagen. Daher gelten die in diesem Zusammenhang in den normativen Verweisungen aufgeführten Normen, welche Grundanforderungen des ADR/RID umfassen, die in der vorliegenden Norm nicht behandelt wurden, nur dann als normativ, wenn diese Normen selbst im RID und/oder in den technischen Anhängen des ADR in Bezug genommen werden.

Die anderen Teile von EN 1252 sind:

- Teil 1: Grundanforderungen
- Teil 3: Betriebsanforderungen

Diese Norm behandelt den rechnerischen oder experimentellen Nachweis zur Bemessung.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm gilt für die Bemessung, Herstellung und Prüfung von ortsbeweglichen, vakuum-isolierten Kryo-Behältern mit einem Fassungsraum von nicht mehr als 1000 Litern, die für einen höchstzulässigen Betriebsdruck über Atmosphärendruck bemessen sind.

Diese Norm gilt für ortsbewegliche, vakuum-isolierte Kryo-Behälter für Fluide, die in EN 1251 festgelegt, und sie gilt nicht für giftige Fluide.

Einzelheiten über zulässige Werkstoffe siehe EN 1251-1, Abschnitt 8.

Zusätzliche Anforderungen für brennbare Fluide sind im Anhang C enthalten.

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 dieser Publikationen 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.

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
Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Teil 3: Schweißverfahrensprüfungen für das Lichtbogenschweißen von Stählen

EN 288-4
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

Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung

prEN 729-2

Quality systems for welding — Part 2: Fusion welding of metallic materials — Complete quality systems

prEN 729-3

Quality systems for welding — Part 3: Fusion welding of metallic materials — Standard quality system

EN 895

Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen — Querzugversuch

EN 910

Zerstörende Prüfungen von Schweißnähten an metallischen Werkstoffen — Biegeprüfungen

EN 962

Ortsveränderliche Gasflaschen; Ventilschutzeinrichtungen; Anforderungen und Typprüfung

EN 970

Zerstörungsfreie Prüfung von Schmelzschweißnähten — Sichtprüfung

EN 1251-1

Tiefkalte Behälter; Ortsbeweglich, vakuum-isoliert, von nicht mehr als 1000 Liter Rauminhalt — Teil 1: Grundanforderungen

EN 1251-3

Tiefkalte Behälter; Ortsbeweglich, vakuum-isoliert, von nicht mehr als 1000 Liter Rauminhalt — Teil 3: Betriebsanforderungen

EN 1252-1

Kryo-Behälter — Werkstoffe — Teil 1: Anforderungen an die Zähigkeit bei Temperaturen unter -80°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



Documents

Document Sharing Hub

- EN 1435
Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Durchstrahlungsprüfung von Schmelzschweißverbindungen
- EN 1626
Tiefkalte Behälter — Ventile für tiefkalten Betrieb
- EN 1708-1
Schweißen — Verbindungselemente beim Schweißen von Stahl — Teil 1: Drucktragende Bauelemente
- EN 1797-1
Kryo-Behälter — Verträglichkeit von Gas/Werkstoffen — Teil 1: Sauerstoff-Verträglichkeit
- EN 10045-1
Metallische Werkstoffe — Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy — Teil 1: Prüfverfahren
- EN 10204
Metallische Erzeugnisse — Arten von Prüfbescheinigungen
- EN 12213
Tiefkalte Behälter — Verfahren zur Bewertung des Wärmedämmvermögens
- EN 12300
Kryo-Behälter — Reinheit für den tiefkalten Betrieb
- EN 22244
Verpackung — Versandfertige Packstücke — Horizontale Stoßprüfung (waagerechte oder schiefe Ebene; Pendel)
- prEN ISO 4126-2
Sicherheitseinrichtungen gegen unzulässigen Überdruck — Teil 2: Berstscheibenrichtungen (ISO/DIS 4126-2 : 1996)
- EN ISO 6520-2
Schweißen und verwandte Prozesse — Einteilung von geometrischen Unregelmäßigkeiten an Metallen — Teil 1: Schmelzschweißen (ISO 6520-1 : 1998)

3 Definitionen und Symbole

3.1 Definitionen

Für die Anwendung dieser Norm gelten die folgenden Definitionen zusätzlich zu denen in EN 1251-1:

3.1.1 Automatisches Schweißen: Schweißvorgang, dessen Parameter automatisch gesteuert werden. Einige dieser Parameter können während des Schweißvorgangs unter Umständen in begrenztem Maße von Hand oder automatisch eingestellt werden, damit die festgelegten Schweißbedingungen eingehalten werden können.

3.1.2 Höchstzulässiger Druck, P_S : Der maximale Druck, der unter den normalen Betriebsbedingungen entstehen kann.

3.1.3 Fassungsraum des Innenbehälters: ist das Volumen des Mantels ausschließlich Stützen, Rohren usw., bestimmt bei der Mindestbemessungstemperatur und bei Atmosphärendruck.

3.2 Symbole und Einheiten

In den folgenden Formeln werden nachstehende Symbole und Einheiten benutzt:

- c Zuschlag für Korrosion in Millimeter
- d_i Innendurchmesser eines Rohres oder Stützens in Millimeter
- f schmale Seite einer rechteckigen oder elliptischen Platte in Millimeter

- l_b Beullänge in Millimeter
- n Anzahl
- p Berechnungsdruck in bar
- p_e zulässiger Außendruck, begrenzt durch elastisches Einbeulen in bar
- p_p zulässiger Außendruck, begrenzt durch plastische Verformung in bar
- r Radius, z. B. innerer Krempenradius eines gewölbten Bodens und von Kegeln in Millimeter
- s erforderliche Wanddicke einschließlich Zuschläge in Millimeter
- s_e ausgeführte Wanddicke in Millimeter
- v Faktor zur Berücksichtigung der Ausnutzung der zulässigen Bemessungsspannung in Fügeverbindungen oder Faktor zur Berücksichtigung von Verschwächungen
- x (Abklinglängenbereich) Entfernung, über die die vorherrschende Spannung entsprechend der Annahme wirkt in Millimeter
- A Fläche, in Quadratmillimeter
- C, β Berechnungsbeiwerte
- D Durchmesser des Grundkörpers in Millimeter
- D_a Außendurchmesser, z. B. einer Zylinderschale in Millimeter
- D_i Innendurchmesser, z. B. einer Zylinderschale in Millimeter
- E Elastizitätsmodul in Newton pro Quadratmillimeter
- I Flächenträgheitsmoment in Millimeter⁴
- K Festigkeitskennwert in Newton pro Quadratmillimeter
- R Krümmungsradius, z. B. innerer Scheitelradius einer Wölbung in Millimeter
- S Sicherheitsbeiwert beim Bemessungsdruck
- S_k Sicherheitsbeiwert gegen elastisches Einbeulen beim Bemessungsdruck
- S_p Sicherheitsfaktor gegen plastische Verformung
- Z Hilfswert
- ν Querkontraktionszahl
- u Unrundheit

4 Bemessung

4.1 Möglichkeiten für den Nachweis der Bemessung

Jeder Behälter muß einem Nachweis der Bemessung nach einer der Möglichkeiten der Abschnitte 4.1.1, 4.1.2 oder 4.1.3 unterzogen werden. Der Hersteller muß die Art der individuellen Bemessung berücksichtigen, insbesondere das Ausmaß des Neuen; eine Nachweismethode, die für diese Bemessung passend ist und die Begrenzung dieser Methode.

4.1.1 Rechnerischer Nachweis

Diese Option erfordert die Berechnung aller druckführenden und lasttragenden Bauteile. Die Dicken der druckführenden Teile des Innenbehälters und des Außenmantels dürfen nicht kleiner sein als in 4.3 gefordert. Zusätzliche Berechnungen sind erforderlich, um die Bemessung für die Betriebsbedingungen einschließlich einer Toleranz für dynamische Belastungen nachzuweisen.

4.1.2 Experimenteller Nachweis

Diese Option erfordert den Nachweis der Druckhaltbarkeit und der sicheren Konstruktion durch ein Experiment, wie in 4.4 genauer beschrieben.



Documents

Document Sharing Hub

4.1.3 Rechnerischer und experimenteller Nachweis

Diese Option erfordert den Nachweis der Druckhaltefähigkeit durch Berechnung, außer wenn die Anforderungen für die Mindestwanddicke der Tabellen 1 und 2 nicht gelten. Die sichere Konstruktion muß durch ein Experiment nachgewiesen werden, wie in 4.4 ausführlich beschrieben.

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.

Im Falle der Erhöhung von mindestens einer der folgenden Parameter muß das ursprüngliche Programm für den Nachweis der Bemessung unter Berücksichtigung dieser Modifikation wiederholt werden:

- der max. zulässige Arbeitsdruck;
- das spezifische Gewicht des Gases, für das der Behälter ausgelegt wurde;
- das max. TARA-Gewicht des Innenbehälters;
- die Nennlänge und/oder Durchmesser des Innenbehälters,

oder im Falle jeder Veränderung im Hinblick auf

- den Werkstoff-Typ oder die Sorte (z. B. von rostfreiem Stahl auf Aluminium oder Änderung der Sorte des rostfreien Stahls);
- die grundlegende Form;
- eine Verringerung der Werkstoffeigenschaften des verwendeten Werkstoffes;
- eine Modifizierung der Auslegung eines Bemessungsverfahrens für alle unter Spannung stehenden Teile, insbesondere soweit das Unterstützungssystem zwischen dem Innenbehälter und dem Außenmantel oder dem Innenbehälter selbst oder dem Schutzrahmen, falls vorhanden, betroffen ist.

Zusätzlich müssen die jeweiligen Prüfungen (in Übereinstimmung mit den Abschnitten 4.4.4.2 und 4.4.4.3) oder die jeweiligen Berechnungen wiederholt werden, um die Änderungen infolge der Handhabungen zu berücksichtigen.

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 Innenbehälters;
- Handhabungs- und Sicherungsverfahren;
- Stapelanordnung.

Es ist eine Bemessungsunterlage in Form von Zeichnungen und/oder schriftlichem Text zu erstellen, die die obigen Angaben sowie gegebenenfalls folgendes enthält:

- die Angabe, welche Bauteile durch Berechnung und welche durch Experiment 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 nach EN 10204;

- 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 Anhebe Punkten und zum Anhebeverfahren.

4.2.3 Bemessungslasten

4.2.3.1 Allgemeines

Der ortsbewegliche Kryo-Behälter muß sicher den mechanischen und thermischen und chemischen Belastungen, denen er während der Druckprüfung und des bestimmungsgemäßen Gebrauchs ausgesetzt ist, standhalten, wie nachstehend angegeben.

4.2.3.2 Innenbehälter

Mit Ausnahme von Punkt a) muß davon ausgegangen werden, daß die folgenden Lasten in Kombination wirken:

- a) Druckprüfung. Für den Nachweis ist folgender Wert zu benutzen:

$$P_T \geq 1,3 (P_S + 1) \text{ bar} \quad (1)$$

dabei ist P_S der höchstzulässige Druck, in bar.

1 bar ist addiert worden, um das äußere Vakuum zu berücksichtigen.

- b) Für den Druck im Betrieb, P_C , gilt

$$P_C = P_S + P_L + 1 \text{ bar} \quad (2)$$

P_L ist der Druck, in bar, den der Flüssigkeitsinhalt ausübt, wenn der Behälter bis zu seinem Fassungsvermögen gefüllt und einer dynamischen Belastung ausgesetzt ist.

- c) Die Reaktion an den Abstützungspunkten des Innenbehälters aufgrund der Masse des Innenbehälters und seines Inhalts, wenn er einer dynamischen Belastung unterworfen ist.

- d) Die Belastung, die die Rohrleitungen infolge unterschiedlicher Wärmeausdehnungen von Innenbehälter, Rohrleitungen und Außenmantel aufbringen.

Es sind folgende Fälle zu untersuchen:

- Abkühlung (Innenbehälter warm — Rohrleitung kalt),
- Befüllen und Entnahme (Innenbehälter kalt — Rohrleitung kalt) und
- Transport und Lagerung (Innenbehälter kalt — Rohrleitung warm).

- e) Die Belastung des Innenbehälters an seinen Abstützungspunkten, wenn er sich von der Umgebungs- auf die Betriebstemperatur abkühlt und wenn er in Betrieb ist.

4.2.3.3 Außenmantel

Es muß in Betracht gezogen werden, daß die folgenden Lasten gegebenenfalls in Kombination wirken:

- a) Ein Außendruck von 1 bar.
- b) Ein Innendruck gleich dem eingestellten Druck der Druckentlastungseinrichtung für den Außenmantel.

- c) Die Belastung durch den Innenbehälter und seinen Inhalt an den Abstützungspunkten im Außenmantel, wenn dieser einer dynamischen Belastung unterworfen wird.
- d) Die Belastung durch die Rohrleitung entsprechend 4.2.3.2 d).
- e) Die Belastung an den Abstützungspunkten des Innenbehälters im Außenmantel, wenn sich der Innenbehälter von der Umgebungs- auf die Betriebstemperatur abkühlt und wenn er in Betrieb ist.
- f) Die Reaktionen an den Abstützungspunkten des Außenmantels aufgrund der Masse des ortsbeweglichen Kryo-Behälters und seines Inhalts, wenn er bis zu seinem Fassungsvermögen gefüllt und einer dynamischen Belastung unterworfen ist (siehe 4.3.8).

4.2.3.4 Abstützungen des Innenbehälters

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

4.2.3.5 Abstützungen des Außenmantels

Die Abstützungen des Außenmantels müssen für die in 4.2.3.3 f) angegebene Belastung berücksichtigt werden.

4.2.3.6 Anschlagpunkte

Die Anschlagpunkte müssen zum Anheben des ortsbeweglichen Kryo-Behälters geeignet sein, wenn er bis zu seinem Fassungsraum gefüllt und einer vertikalen dynamischen Belastung unterworfen ist und nach dem festgelegten Verfahren angehoben wird (siehe 4.3.8).

4.2.3.7 Gestell

Wenn ein Gestell Bestandteil des ortsbeweglichen Kryo-Behälters ist, muß es die statischen und dynamischen Belastungen während der Lagerung, des Anhebens und Transportes aufnehmen können. Dazu müssen auch gegebenenfalls die Belastungen beim Stapeln der Behälter berücksichtigt werden (siehe 4.3.8).

4.2.3.8 Schutzvorrichtungen

Die Vorrichtungen für den Schutz von Armaturen und äußeren Rohrleitungen müssen so bemessen sein, daß sie einer Belastung entsprechend der in horizontaler oder vertikaler Richtung wirkenden Masse des bis zum Fassungsvermögen gefüllten ortsbeweglichen Kryo-Behälters standhalten.

Die Belastung muß gleich der doppelten Gesamtmasse sein, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- das Fassungsvermögen kleiner als 100 Liter ist;
- die Gesamtmasse kleiner als 150 kg ist;
- die Höhe des Schwerpunkts des ortsbeweglichen Kryo-Behälters bei Füllung bis zum Fassungsvermögen einschließlich aller Gestellelemente größer ist als das Zweifache der kleinsten Länge seiner horizontalen Standfläche.

4.2.3.9 Rohrleitungen

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. Mindestens gleich dem zulässigen Arbeitsdruck P_S plus 1 bar für die Rohrleitungen innerhalb des Vakuummantels.
- b) Druck im Betrieb. Mindestens gleich dem an der Druckentlastungseinrichtung des Systems eingestellten Druck.

- c) Die thermischen Belastungen nach 4.2.3.2 d).
- d) Dynamische Belastungen.
- e) Den an den Entlastungseinrichtungen eingestellten Innendruck, soweit vorhanden.
- f) Die Belastungen, die durch das Ausströmen bei der Druckentlastung entstehen.

4.2.4 Zuschlag für Korrosion

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 im Innenbehälter oder Außenmantel werden nicht gefordert.

ANMERKUNG 1: Eine Korrosion an der Innenoberfläche durch die Kombination von Konstruktionswerkstoffen und Betriebsfluiden kann nicht eintreten.

ANMERKUNG 2: Der Innenbehälter befindet sich innerhalb des evakuierten Außenmantels; somit kann eine Korrosion an der Außenoberfläche des Innenbehälters nicht eintreten.

ANMERKUNG 3: Der Verzicht auf Besichtigungsöffnungen unterstützt auch die sichere Aufrechterhaltung des Vakuums im Isolationsraum.

4.2.6 Druckentlastung

4.2.6.1 Allgemeines

Die Druckentlastungsarmaturen für den Innenbehälter müssen den jeweiligen Europäischen Normen entsprechen.

Die Druckentlastungsarmaturen am Außenmantel müssen Anhang D entsprechen.

Die Systeme müssen so bemessen sein, daß sie die nachstehenden Anforderungen erfüllen.

4.2.6.2 Innenbehälter

Der Innenbehälter muß mit mindestens einer Druckentlastungsarmatur ausgerüstet sein, um den Behälter gegen Überdruck infolge:

- a) einer normalen Wärmeeinströmung;
ANMERKUNG: Die nach EN 12213 berechnete Isolierung muß so ausreichend bemessen sein, damit die nach EN 1251-3 geforderte Haltezeit erreicht wird.
- b) einer Wärmeeinströmung bei Vakuumverlust;
- c) eines Ausfalls des Reglers in der geöffneten Stellung des Druckaufbausystems

zu schützen.

Überdruck bedeutet einen Druck von mehr als 110 % des höchstzulässigen Arbeitsdruckes für die Bedingung a) und einen Druck größer als der Prüfdruck für die Bedingungen b) oder c).

Eine Ausnahme gilt für Behälter kleiner 450 l Fassungsraum, wo nur eine Druckentlastungseinrichtung gefordert ist.

Absperrarmaturen oder gleichwertige Einrichtungen dürfen vor Druckentlastungseinrichtungen eingebaut werden, sofern zusätzliche Vorrichtungen und 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 nicht bewirkt, daß das Ventil sofort wieder schließt.

4.2.6.3 Außenmantel

Am Außenmantel muß eine Druckentlastungseinrichtung eingebaut sein. Die Entlastungseinrichtung muß so eingestellt sein, daß sie bei einem Druck von nicht mehr als 0,5 bar anspricht. Der Entlastungsquerschnitt der Druckentlastungseinrichtung darf nicht kleiner als $0,34 \text{ mm}^2$ je Liter Fassungsvermögen des Innenbehälters sein, muß aber einen Durchmesser von mindestens 10 mm haben.

4.2.6.4 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

Die Absperrarmaturen müssen EN 1626 entsprechen.

4.3 Rechnerischer Nachweis**4.3.1 Allgemeines**

Wenn die Bemessung durch rechnerischen Nachweis nach 4.1.1 oder 4.1.3 erfolgt, müssen die Wanddicken des Innenbehälters und des Außenmantels mindestens gleich den in diesem Abschnitt bestimmten sein.

4.3.2 Innenbehälter**4.3.2.1 Wanddicke**

Bei Ermittlung der Wanddicken der druckführenden Teile mit den Berechnungsformeln in 4.3.7 ist zusätzlich Nachstehendes zu beachten.

Die tatsächliche Wanddicke darf nicht kleiner sein als in Tabelle 1 angegeben, wenn nicht

- entweder die Bemessung durch Experiment nachgewiesen worden ist, oder
- eine Spannungsanalyse durchgeführt wurde und eine Beurteilung nach Anhang A erfolgt ist.

Tabelle 1: Mindestwanddicke des Innenbehälters

Innenbehälter Durchmesser D , in mm	Mindestwanddicke s_0 , in mm, für Bezugsstahl ¹⁾
$D \leq 400$	1
$400 < D \leq 1\,800$	$1 + \frac{D - 400}{700}$

¹⁾ Bezugsstahl ist ein Werkstoff mit einem Produkt $R_m \times A_5$ von 10 000. Für andere Werkstoffe ist die Mindestdicke nach folgender Formel zu berechnen:

$$s = \frac{21,4 s_0}{\sqrt[3]{R_m \cdot A_5}}$$

dabei sind:

R_m die Zugfestigkeit, in Newton pro Quadratmillimeter;

A_5 die Bruchdehnung, in Prozent.

4.3.2.2 Berechnungsdruck p

Der Berechnungssinnendruck p muß gleich P_T sein, wie in 4.2.3.2 definiert.

Der Innenbehälter braucht nicht für den Außendruck bemessen zu sein.

4.3.2.3 Festigkeitskennwert K bei 20°C

Der bei den Berechnungen zu verwendende Festigkeitskennwert K muß

- für austenitischen nichtrostenden Stahl und Aluminium: die 1%-Dehngrenze,
- für Aluminiumlegierungen: die 0,2%-Dehngrenze sein.

K muß der der Werkstoffnorm entnommene Mindestwert bei 20°C sein. Im Falle von austenitischen nichtrostenden Stählen darf der festgelegte Mindestwert um bis zu 15 % überschritten werden, sofern dieser höhere Wert in der Überwachungsbescheinigung bestätigt ist.

Höhere Werte von K dürfen benutzt werden, falls nachstehende Bedingungen erfüllt sind:

- der Werkstoffhersteller muß die Einhaltung dieses höheren Wertes schriftlich garantieren, wenn er den Auftrag annimmt;
- die erhöhten Eigenschaften müssen durch Prüfung an jeder zu liefernden gewalzten Platte oder an jedem zu liefernden Coil nachgewiesen werden;
- die erhöhten Eigenschaften müssen in der Überwachungsbescheinigung bestätigt sein.

Für austenitischen nichtrostenden Stahl darf bei der Bemessung ein Festigkeitskennwert verwendet werden, der an einem kaltverfestigten Werkstoff ermittelt wurde, sofern dieser Wert und eine ausreichende Duktilität im fertigen Bauteil erhalten geblieben sind.

4.3.2.4 Sicherheitsbeiwerte S , S_p und S_k

Zu verwendende Sicherheitsbeiwerte:

Innerer Überdruck (Druck auf die konkav gewölbte Oberfläche)

$$S = 1,33$$

Äußerer Überdruck (Druck auf die konvex gewölbte Oberfläche)

$$\text{Zylindermantel} \quad S_p = 1,4$$

$$S_k = 2,6$$

$$\text{Kugelbereich} \quad S_p = 2,1$$

$$S_k = 2,6 + 0,0018 R/s$$

$$\text{Krempenbereich} \quad S_p = 1,6$$

4.3.2.5 Schweißnahtfaktoren v

Innerer Überdruck

(Druck auf die konkav gewölbte Oberfläche)

$v = 0,85$ oder $1,0$ — siehe Abschnitt 6

Äußerer Überdruck

(Druck auf die konvex gewölbte Oberfläche)

$v = 1,0$

4.3.2.6 Zuschläge c

$c = 0$

ANMERKUNG: Für austenitischen nichtrostenden Stahl, Aluminium und Aluminiumlegierungen ist kein Zuschlag erforderlich.

4.3.3 Außenmantel**4.3.3.1 Wanddicken**

Zur Ermittlung der Wanddicken der druckführenden Teile aus den Berechnungsformeln in 4.3.7 ist Nachstehendes zu beachten.

Die tatsächliche Wanddicke darf nicht kleiner sein als in Tabelle 2 angegeben, wenn nicht

- entweder die Bemessung durch Experiment nachgewiesen worden ist,
- oder eine Spannungsanalyse durchgeführt wurde und eine Beurteilung nach Anhang A erfolgt ist.

Tabelle 2: Mindestwanddicke des Außenmantels

Außenmantel Durchmesser D , in mm	Mindestwanddicke s_0 , in mm, für Bezugsstahl ¹⁾
$D \leq 1\,800$	$0,5 + \frac{D}{1\,200}$
¹⁾ Bezugsstahl ist ein Werkstoff mit einem Produkt $R_m \times A_5$ von 10 000. Für andere Werkstoffe ist die Mindestdicke nach folgender Formel zu berechnen: $s = \frac{21,4 s_0}{\sqrt[3]{R_m \cdot A_5}}$ dabei sind: R_m die Zugfestigkeit, in Newton pro Quadratmillimeter; A_5 die Bruchdehnung, in Prozent.	

4.3.3.2 Berechnungsdruck p

Der Berechnungsdruck p gegen Innendruck muß gleich dem an der Druckentlastungseinrichtung des Außenmantels eingestellten Druck sein.

Der Berechnungsdruck gegen Außendruck muß gleich 1 bar sein.

4.3.3.3 Festigkeitskennwert K bei 20°C

Der bei den Berechnungen zu verwendende Festigkeitskennwert K muß sein:

- für austenitischen nichtrostenden Stahl, Aluminium und Aluminiumlegierungen die Festigkeitskennwerte, wie in 4.3.2.3 angegeben;
- für Kohlenstoffstahl die Streckgrenze.

ANMERKUNG: Es darf die obere Streckgrenze benutzt werden.

4.3.3.4 Sicherheitsbeiwerte S , S_p und S_k

Zu verwendende Sicherheitsbeiwerte:

Innerer Überdruck (Druck auf die konkav gewölbte Oberfläche)

$$S = 1,1$$

Äußerer Überdruck (Druck auf die konvex gewölbte Oberfläche)

Zylindermantel	$S_p = 1,1$
	$S_k = 2,0$

Kugelbereich	$S_p = 1,6$
	$S_k = 2,0 + 0,0014 R/s$

Krempenbereich	$S_p = 1,2$
----------------	-------------

4.3.3.5 Schweißnahtfaktoren v

Innerer Überdruck
(Druck auf die konkav gewölbte Oberfläche) $v = 0,7$

Äußerer Überdruck
(Druck auf die konvex gewölbte Oberfläche) $v = 1,0$

4.3.3.6 Zuschläge c

Austenitischer nichtrostender Stahl $c = 0$

Aluminium und Aluminiumlegierungen $c = 0$

Kohlenstoffstahl $c = 1,0$ mm

c kann gleich Null angenommen werden, wenn die äußere Oberfläche in geeigneter Weise korrosionssgeschützt ist.

4.3.4 Abstützungen, Anschlagpunkte und Gestell

Die Abstützungen und das Gestell müssen für die Belastungen nach 4.2 bemessen sein, wobei bewährte Bemessungsverfahren und Sicherheitsbeiwerte anzuwenden sind.

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

4.3.5 Schutzvorrichtungen

Armaturen müssen mit einem Schutz ausgestattet sein, der für die in 4.2.3.8 festgelegten Belastungen bemessen ist. Die Anforderungen sind erfüllt, wenn die zu schützenden Armaturen

- entweder sich innerhalb einer Schutzvorrichtung befinden, die dauerhaft an dem ortsbeweglichen Kryobehälter befestigt ist,
- oder innerhalb der Kontur des ortsbeweglichen Kryobehälters angeordnet sind, z.B. innerhalb eines nach innen gewölbten Bodens.

Eine gewisse Beschädigung und Verformung der Schutzvorrichtung ist zulässig, sofern die Unversehrtheit des ortsbeweglichen Kryobehälters und seiner Sicherheitseinrichtungen erhalten bleibt und kein Fluid austritt, ausgenommen kleine Mengen, die aus den Sicherheitseinrichtungen zum Schutz des Innenbehälters austreten.

4.3.6 Rohrleitungen

Die Rohrleitungen müssen für die in 4.2.3.9 definierten Belastungen bemessen werden, wobei bewährte Bemessungsverfahren und Sicherheitsfaktoren zu benutzen sind.

4.3.7 Berechnungsformeln

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

4.3.7.1.1 Anwendungsbereich

Zylindrische und kugelförmige Schalen mit

$$D_a/D_i \leq 1,2$$

4.3.7.1.2 Öffnungen

Faktor v zur Berücksichtigung von Verschwächungen aufgrund von Öffnungen siehe 4.3.7.7.

4.3.7.1.3 Berechnung

Die geforderte Mindestwanddicke s beträgt

- für Zylinderschalen

$$s = \frac{D_a p}{20 (K/S) v + p} + c \quad (3)$$

- für Kugelschalen

$$s = \frac{D_a p}{40 (K/S) v + p} + c \quad (4)$$

4.3.7.2 Zylinderschalen unter äußerem Überdruck (Druck auf die konvex gewölbte Oberfläche)

4.3.7.2.1 Anwendungsbereich

Zylindrische Schalen mit

$$D_a/D_i \leq 1,2$$

4.3.7.2.2 Ausschnitte

Ausschnitte müssen nach 4.3.7.7 berechnet werden, wobei der Außendruck als Innendruck zu behandeln ist.

4.3.7.2.3 Berechnung

Die Berechnungen müssen für elastisches Einbeulen und für plastische Verformung durchgeführt werden. Der niedrigste berechnete Druck p_e oder p_p muß mindestens gleich dem Bemessungsaußendruck sein.

Die Beullänge l_b ist die Länge der nicht verstärkten Zylinderschale (siehe Bilder 1 und 2). Es dürfen anderen Formen des Versteifungsquerschnitts benutzt werden.

Für Behälter mit gewölbten Böden beginnt die Beullänge am Übergang des Zylinders in den Bereich des gewölbten Bodens (siehe Bild 3).

4.3.7.2.4 Elastisches Einbeulen

Die Berechnungen werden mit Hilfe der nachstehenden Formel durchgeführt:

$$p_e = E/S_k \left\{ \frac{20}{(n^2 - 1) [1 + (n/Z)^2]^2} \cdot \frac{s - c}{D_a} + \frac{80}{12(1 - \nu^2)} \left[n^2 - 1 + \frac{2n^2 - 1 - \nu}{1 + (n/Z)^2} \right] \cdot \left[\frac{s - c}{D_a} \right]^3 \right\} \quad (5)$$

dabei sind $Z = 0,5 \pi D_a/l_b$ und n eine so bestimmte ganze Zahl gleich oder größer als 2 und größer als Z , daß für sie der Wert von p_e ein Minimum annimmt. n bezeichnet die Anzahl der Einbeulwellen, die beim Versagen auf dem Umfang auftreten können. Die Anzahl der Einbeulwellen kann mit Hilfe der folgenden Näherungsgleichung berechnet werden:

$$n = 1,63 \sqrt[4]{D_a^3 / [l_b^2 (s - c)]} \quad (6)$$

Für Rohre und Rohrleitungen darf für die Berechnungen folgende vereinfachte Formel benutzt werden:

$$p_e = \frac{E}{S_k} \cdot \frac{20}{1 - \nu^2} \cdot \left(\frac{s - c}{D_a} \right)^3 \quad (7)$$

4.3.7.2.5 Plastische Beulen

Für $D_a/l_b \leq 5$ gilt

$$p_p = \frac{20K}{S_p} \cdot \frac{s - c}{D_a} \cdot \frac{1}{1 + \frac{u(1 - 0,2 D_a/l_b) D_a}{100(s - c)}} \quad (8)$$

Für $D_a/l_b > 5$ muß der höhere der sich aus den Gleichungen (9) und (10) ergebenden Drücke mindestens gleich dem äußeren Berechnungsdruck sein.

$$p_p = \frac{20K}{S_p} \cdot \frac{(s - c)}{D_a} \quad (9)$$

$$p_p = \frac{30K}{S_p} \cdot \left(\frac{s - c}{l_b} \right)^2 \quad (10)$$

4.3.7.2.6 Versteifungsringe

Außer den Böden dürfen die in Bild 1 und Bild 2 dargestellten Profile als effektive Verstärkungselemente angesehen werden. Die an der Schale angeschweißten Versteifungsringe müssen den folgenden Bedingungen genügen:

$$I \geq \frac{0,124 p D_a^3}{10E} \sqrt{D_a(s - c)} \quad (11)$$

$$A \geq \frac{0,75 p D_a}{10K} \sqrt{D_a(s - c)} \quad (12)$$

Das Trägheitsmoment I ist auf die neutrale Achse des Querschnitts der Versteifungsringe parallel zur Mantelachse bezogen (siehe Achse $x - x$ in Bild 1 und Bild 2). Schmale und hohe Versteifungsringe der in Bild 1 dargestellten Art können einbeulen. Ist die Höhe des Elements größer als seine achtfache Breite, so muß eine genauere Berechnung durchgeführt werden.

Wenn Versteifungsringe durch unterbrochene Schweißnähte an den Mantel angeschweißt sind, müssen die Kehlnähte auf jeder Seite mindestens ein Drittel des Mantelumfangs überdecken und muß die Anzahl der Schweißnahtunterbrechungen mindestens $2n$ betragen. Die Anzahl n der Einbeulungen ergibt sich nach 4.3.7.2.4.

4.3.7.3 Kugelschalen unter äußerem Überdruck (Druck auf die konvex gewölbte Oberfläche)

Kugelschalen, die einem äußeren Überdruck unterworfen sind, müssen nach 4.3.7.4.4 bewertet werden.

4.3.7.4 Gewölbte Böden unter innerem und äußerem Überdruck

4.3.7.4.1 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 $0,001 \leq (s - c)/D_a \leq 0,1$

Andere torisphärische Bodenformen dürfen verwendet werden, wenn entsprechende Berechnungen nach 4.3.8 durchgeführt werden.

4.3.7.4.2 Zylindrischer Bord

Die Höhe des zylindrischen Bordes h_1 (Bild 4 und Bild 5) 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 Innenbehältern die Rundnahtverbindung zwischen gewölbten Böden und Zylinder, wie für einen Schweißnahtfaktor von 1,0 gefordert, zerstörungsfrei geprüft wird.

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

— Dicke der Kalotte und der Halbkugel

Die Wanddicke des Kalottenteils gewölbter Böden und Halbkugelböden muß entsprechend 4.3.7.1.3 $D_a = 2(R + s)$ ermittelt werden.

Ausschnitte im Scheitelbereich von $0,6 D_a$ torisphärischer Böden und in Halbkugelböden müssen entsprechend 4.3.7.7 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.

— Wanddicke von torisphärischen Böden und Dicke des Halbkugelanschlusses

Die geforderte Wanddicke von Krempen und Halbkugelanschlüssen muß sein:

$$s = \frac{D_a p \beta}{40 (K/S) v} + c \quad (13)$$

β wird in Abhängigkeit von $(s - c)/D_a$ für Klöpperböden Bild 5 und für Korbbogenböden Bild 6b) entnommen. Dabei ist Iteration erforderlich.

D_a ist der Durchmesser des zylindrischen Bords, wie in Bild 4 und Bild 5 dargestellt.

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

Die unteren Kurven in Bild 6a) und Bild 6b) gelten, wenn der Bereich außerhalb von $0,6 D_a$ nicht durch Ausschnitte verschwächt ist.

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.

Bei Vollböden in Halbkugelform muß unabhängig vom Verhältnis $(s - c)/D_a$ ein β -Wert von 1,1 innerhalb des Abstands x der Tangente des Bodens an den Zylinder benutzt werden, hier gilt:

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

4.3.7.4.4 Berechnungen bei äußerem Überdruck (Druck auf die konvex gewölbte Oberfläche)

— Elastisches Einbeulen

Der Widerstand gegen elastisches Beulen ist ausreichend, wenn:

$$p \leq 3,66 \frac{E}{S_k} \cdot \left(\frac{s - c}{R} \right)^2 \quad (14)$$

— Plastisches Beulen

Der Widerstand gegen plastisches Beulen wird nach 4.3.7.1 mit dem entsprechenden Sicherheitsbeiwert S_p nach 4.3.2.4 und 4.3.3.4 ermittelt.

4.3.7.5 Kegelförmige Mäntel unter innerem und äußerem Überdruck

4.3.7.5.1 Symbole und Einheiten

Für die Anwendung von Abschnitt 4.3.7.5 gelten die folgenden Symbole und Einheiten zusätzlich zu denen in Abschnitt 3.2.

A	Fläche des Versteifungsringes in Quadratmillimeter
D_{a1}	Außendurchmesser des angeschlossenen Zylinders (Bild 7) in Millimeter
D_{a2}	Außendurchmesser an der wirksamen Versteifung (Bild 9) in Millimeter
D_k	Bemessungsdurchmesser (Bild 7) in Millimeter
D_s	Manteldurchmesser am Stutzen (Bild 8) in Millimeter
I	Trägheitsmoment, bezogen auf die Achse parallel zum Mantel in Millimeter^4
l	Kegellänge zwischen wirksamen Versteifungen (Bild 9) in Millimeter
s_g	geforderte Wanddicke außerhalb des Abklingbereichs in Millimeter
s_l	geforderte Wanddicke innerhalb des Abklingbereichs in Millimeter
x_i	Abklinglängen ($i = 1, 2, 3$) für die Definition des Eckbereichs (Bild 11 und 4.3.7.5.5) in Millimeter
φ	Kegelöffnungswinkel in Grad

4.3.7.5.2 Anwendungsbereich

Kegel nach Bild 7 mit

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

und

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

Für den äußeren Überdruck gilt $|\varphi| \leq 70^\circ$. Kegelförmige Mäntel, die mit einem zylindrischen Mantel durch Eckstoß verbunden sind, können hiernach beurteilt werden.

4.3.7.5.3 Ausschnitte

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

Bei $|\varphi| < 70^\circ$ ist nach 4.3.7.7 zu berechnen unter Verwendung eines äquivalenten Zylinderdurchmessers

$$D_i = \frac{D_s + d_i |\sin \varphi|}{\cos \varphi} \quad (15)$$

Bei $|\varphi| \geq 70^\circ$ ist nach 4.3.6.7 zu berechnen.

4.3.7.5.4 Zerstörungsfreie Prüfungen

Alle Eckstoßverbindungen müssen der Untersuchung unterzogen werden, die für einen Schweißnahtfaktor 1,0 gefordert wird.

4.3.7.5.5 Abklingbereich

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

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

$$x_1 = \sqrt{D_{a1}(s_1 - c)} \quad (16)$$

$$x_2 = 0,7 \sqrt{D_{a1}(s_1 - c)/\cos \varphi} \quad (17)$$

$$x_3 = 0,5 x_1 \quad (18)$$

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

a) Innerhalb des Abklingbereichs

Die unter Verwendung der Variablen

$$|\varphi|, \frac{p S}{15 K v} \text{ und } \frac{r}{D_{a1}}$$

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_l) innerhalb des Abklingbereichs muß mindestens gleich der nach Formel (19) berechneten geforderten Wanddicke s_g außerhalb des Abklingbereichs sein.

Für eine Eckstoßverbindung ist die Kurve für $r/D_{a1} = 0$ zu benutzen.

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

Für Zwischenwerte von r/D_{a1} ist die in den Bildern 10.1 bis 10.8 angegebene jeweilige Interpolationsgleichung zu benutzen.

Die Wanddicke s_l im Abklingbereich muß mindestens gleich der geforderten Dicke s_g wie in Formel (19) angegeben sein:

b) Außerhalb des Abklingbereichs

Die geforderte Wanddicke s_g außerhalb des Abklingbereichs wird berechnet nach

$$s_g = \frac{D_k p}{20 \frac{K}{S} v - p} \cdot \frac{1}{\cos \varphi} + c \quad (19)$$

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.

4.3.7.5.7 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

$$s_1 = s_g = 0,3 (D_{a1} - r) \cdot \frac{|\varphi|}{90} \cdot \sqrt{\frac{p}{10 (K/S) v}} + c \quad (20)$$

4.3.7.5.8 Berechnung bei äußerem Überdruck (Druck auf die konvex gewölbte Oberfläche)

Die Stabilität gegen elastisches und plastisches Beulen muß nach 4.3.7.2 unter Verwendung eines äquivalenten Zylinders nachgewiesen werden.

Für das Beispiel in Bild 9 ist der Durchmesser des äquivalenten Zylinders zwischen der Krempe und der Versteifung

$$D_a = \frac{D_{a1} + D_{a2}}{2 \cos \varphi} \quad (21)$$

und für die Länge des äquivalenten Zylinders gilt

$$l = \frac{D_{a1} - D_{a2}}{2 \sin |\varphi|} \quad (22)$$

Die äquivalente Länge zwischen zwei wirksamen Versteifungen muß in Abhängigkeit von den jeweiligen Randbedingungen in der Bedeutung von 4.3.7.2 zuverlässig abgeschätzt werden.

Bei $\varphi \geq 10^\circ$ kann der Winkel zum Zylindermantel als effektive Absteifung angesehen werden.

Für kleine Flächen muß die Dicke im Abklingbereich mindestens gleich dem Zweifachen der geforderten Dicke des Kegelmantels bei demselben Winkel φ sein, oder es muß ein Eckring mit folgenden Eigenschaften eingebaut werden:

$$I \geq \frac{p D_{a1}^4}{960 (E/S_k)} \operatorname{tg} |\varphi| \quad (23)$$

$$A \geq \frac{p D_{a1}^2}{80 (K/S_k)} \operatorname{tg} |\varphi| \quad (24)$$

dabei sind:

S_k ist der Sicherheitsbeiwert für die Verhinderung des elastischen Beulens nach 4.3.2.4 oder 4.3.3.4.

D_{a1} ist der Durchmesser nach Bild 7b).

Trägheitsmoment und Fläche der Schale selbst können in einer Breite von $0,5\sqrt{D_{a1}s_1}$ als mittragend berücksichtigt werden.

Zudem sollte die Eckverbindung nicht als klassische Randbedingung idealisiert, d. h. die Gesamtlänge sollte aus den meridionalen Einzellängen von Kegel und Zylinder gebildet werden.

Der Kegel muß zusätzlich nach 4.3.7.5.6 unter Verwendung des um 20 % erhöhten Sicherheitsbeiwertes S aus 4.3.2.4 oder 4.3.3.4 nachgewiesen werden. Für Dicken im Abklingbereich muß v der für den Innendruck geltende Wert sein.

4.3.7.6 Ebene Böden/Platten

4.3.7.6.1 Symbole und Einheiten

Für die Anwendung von 4.3.7.6 gelten die folgenden Symbole zusätzlich zu den in 3.2:

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

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

4.3.7.6.2 Anwendungsbereich

Geschweißte oder massive ebene Böden mit

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

und

$$(s - c)/D \leq 1/3$$

und einer Querkontraktionszahl von etwa 0,3.

4.3.7.6.3 Ausschnitte

Ausschnitte werden nach 4.3.7.6.4 berechnet, wobei jedoch der Faktor C mit C_A zu multiplizieren ist. C_A ist in Bild 11 angegeben.

4.3.7.6.4 Berechnung

Die geforderte Mindestwanddicke eines kreisförmigen ebenen Bodens beträgt

$$s = C D_1 \sqrt{0,1 p S/K} + c \quad (25)$$

C und D_1 sind Bild 12 zu entnehmen.

Die geforderte Mindestwanddicke einer rechteckigen oder elliptischen Platte beträgt

$$s = C C_E f \sqrt{0,1 p S/K} + c \quad (26)$$

C_E ist Bild 13 zu entnehmen.

4.3.7.7 Ausschnitte in Zylindern, Kugeln und Kegeln

4.3.7.7.1 Symbole und Einheiten

Für die Anwendung von 4.3.7.7 gelten die folgenden Symbole zusätzlich zu den in 3.2:

b	Breite der aufgesetzten, eingesetzten oder rohrförmigen Verstärkung in Millimeter
h	Höhe der scheibenförmigen Verstärkung in Millimeter
l	Steg zwischen zwei Stützen in Millimeter
l_s	mittragende Stützenlänge in Millimeter
m	innerer Rohrrüberstand in Millimeter
s_A	geforderte Wanddicke am Ausschnittsrand in Millimeter
s_s	Wanddicke des Stützens in Millimeter
t	hier: Mittenabstand zweier Stützen in Millimeter
v_A	Faktor zur Berücksichtigung von Verschwächungen durch Ausschnitte

4.3.7.7.2 Anwendungsbereich

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

$$0,002 \leq (s - c)/D_a \leq 0,1$$

$(s - c)/D_a < 0,002$ ist zulässig, wenn $d_1/D_a \leq 1/3$ ist.

ANMERKUNG 1: Diese Regeln gelten nur für Kegelmäntel, deren Wanddicke aus der Umfangsspannung ermittelt wird.

ANMERKUNG 2: Zusätzliche äußere Kräfte und Momente werden in diesem Abschnitt nicht behandelt und müssen erforderlichenfalls besonders untersucht werden.

ANMERKUNG 3: Diese Bemessungsregeln gestatten plastische Verformungen bis zu 1 % bei Prüfdruck an hochbeanspruchten Stellen. Deshalb müssen die Ausschnitte sehr sorgfältig bemessen werden, und plötzliche Änderungen der Geometrie sind zu vermeiden.

4.3.7.7.3 Formen der Verstärkungen

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

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

Wenn eine scheibenförmige Verstärkung am Innenbehälter eingesetzt wird, muß der Raum zwischen den beiden Kehlnähten in den Vakuumraum entlüftet werden.

4.3.7.7.4 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 4.3.7.7.5 zu berücksichtigen. Ist der Festigkeitskennwert für die Verstärkung größer als der für die zu verstärkende Wand, so darf der höhere Festigkeitskennwert nicht berücksichtigt werden.

4.3.7.7.5 Berechnung

- a) Der Schwächungsfaktor v_A für senkrechte Stützen kann mit ausreichender Genauigkeit den Bildern 22 entnommen werden. Die Wanddicke s_A in diesen Bildern ist die geforderte Wanddicke. s_A muß durch Iteration ermittelt werden.

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

Für $v_A < v$ muß zur Ermittlung der Wanddicke s_A am Ausschnittsrand für Einzelstützen der v_A -Wert aus dem Bild 22 entnommen werden oder nach Formel (35) für die in Reihe angeordneten Stützen. Außerhalb des Ausschnittsbereiches wird die erforderliche Wanddicke durch v_A nicht beeinflusst.

- b) Ausschnitte können auch entsprechend folgender Beziehung verstärkt werden:

$$\frac{p}{10} \left(\frac{A_p}{A_\sigma} + \frac{1}{2} \right) \leq \frac{K}{S} \quad (27)$$

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 23 bis Bild 26.

Die tragende Querschnittsfläche darf sich für Mäntel höchstens bis b nach Formel (29) und für Stützen höchstens bis l_s nach Formel (31) oder (32) erstrecken.

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

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

einbezogen werden.

Die Beschränkungen nach 4.3.7.7.7 und 4.3.7.7.8 unten sind zu beachten.

Ist der Festigkeitskennwert $K_1, K_2, \dots$ der Verstärkung niedriger als der für die Wand, müssen die Maße die Beziehung

$$\left(\frac{K}{S} - \frac{p}{20} \right) A_\sigma + \left(\frac{K_1}{S} - \frac{p}{20} \right) A_{\sigma 1} + \left(\frac{K_2}{S} - \frac{p}{20} \right) A_{\sigma 2} \geq \frac{p}{10} \cdot A_p \quad (28)$$

erfüllen.

Das gewählte Berechnungsverfahren, d. h. a) oder b), muß in den Bemessungsunterlagen angegeben werden.

4.3.7.7.6 Verstärkter Grundkörper

Der Verschwächungsbeiwert v_A von Ausschnitten nach Bild 14 und Bild 15 ist der unteren Kurve von Bild 22 zu entnehmen.

4.3.7.7.7 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

$$b = \sqrt{(D_1 + s_A - c)(s_A - c)} \quad (29)$$

mindestens jedoch $3 \times s_A$ um den Ausschnitt vorhanden ist — siehe Bilder 16, 17 und 18.

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

$$b_1 h_1 \geq b h \quad (30)$$

verringert wird und die oben angegebenen Grenzen eingehalten werden.

4.3.7.7.8 Rohrförmige Verstärkung

Für Verstärkungen entsprechend Bild 19 und Bild 20 ist der Verschwächungsbeiwert v_A für das Wanddickenverhältnis

$$\frac{s_S - c}{s_A - c}$$

Bild 22 zu entnehmen.

Bei durchgestecktem Stützen nach Bild 19, Bauform c), darf die Stützenwanddicke um 20 % verringert werden, wenn der innere Rohrüberstand $m \geq s_S$ gilt.

$$\text{Für die Wanddicke muß gelten } \frac{s_S - c}{s_A - c} \leq 2,0$$

Die Wanddicke s_A am Ausschnitt muß über eine Breite b nach Formel (31) berechnet mindestens gleich $3 \times s_A$ sein.

Die Wanddicke s_S muß eine Länge l_s vom Mantel aus gerechnet über folgt reichen:

- für Zylinder und Kegel

$$l_s = 1,25 \sqrt{(d_i + s_S - c) \cdot (s_S - c)} \quad (31)$$

- für Kugeln

$$l_s = \sqrt{(d_i + s_S - c) \cdot (s_S - c)} \quad (32)$$

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

$$l_{s1} s_{s1} \geq l_s s_s \quad (33)$$

auf s_{s1} erhöht wird.

4.3.7.7.9 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 4.3.7.7.7 und 4.3.7.7.8 zusammen anzuwenden.

4.3.7.7.10 Mehrfachausschnitte

Mehrfache Ausschnitte gelten als Einzelausschnitte, wenn der Abstand l zwischen zwei benachbarten Ausschnitten nach Bild 25 und Bild 26 folgende Beziehung erfüllt:

$$l \geq 2 \sqrt{(D_i + S_A - c) \cdot (s_A - c)} \quad (34)$$

Ist l kleiner als nach Formel (34) erforderlich, so muß geprüft werden, ob der zwischen den Ausschnittsträndern verbleibende Restquerschnitt der auf ihn wirkenden Belastung standhält. Die Verstärkung ist ausreichend, wenn die entsprechende Anforderung von Formel (27) bzw. (28), soweit zutreffend, erfüllt ist.

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

$$v_A = (t - d_i) / t \quad (35)$$

Bei nicht volltragend angeschlossenen Rohren ist d_A in die Formel (35) einzusetzen.

4.3.8 Berechnungen für Betriebslasten

Ist das Bemessungsmerkmal durch Experiment zusätzlich zu 4.3.7 nachgewiesen worden, so können zusätzliche Berechnungen 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).

Für diese Berechnungen müssen ausführliche Berechnungsverfahren nach Europäischen Normen (in Vorbereitung) oder nach den im Literaturhinweis aufgeführten Dokumenten angewendet werden.

Zulässige Berechnungsverfahren sind z. B.:

- das Finite-Elemente-Verfahren;
- das Differenzengleichungsverfahren;
- das Randelementverfahren;
- anerkannte Berechnungsverfahren.

Bei diesen Berechnungen müssen statische plus dynamische Belastungen durch statische Belastungen ersetzt werden. Die statischen Belastungen müssen:

- in der waagerechten Ebene die doppelte Gesamtmasse in jeder Richtung haben;
- in der senkrechten Ebene die Gesamtmasse aufwärts und die doppelte Gesamtmasse abwärts haben.

Jede dieser Belastungen wird als einzeln wirkend angesehen und enthält die Masse des betreffenden Bauteils.

Die Aufwärtsbelastung muß auf das Zweifache der Gesamtmasse erhöht werden, wenn eine der folgenden Bedingungen zutrifft:

- der Fassungsraum kleiner als 100 Liter ist;
- die Gesamtmasse kleiner als 150 kg ist;

- die Höhe des Schwerpunkts des ortsbeweglichen Kryo-Behälters einschließlich aller Gestellelemente bei Füllung bis zum Fassungsraum größer als das Zweifache der kleineren Abmessung seiner horizontalen Standflächen ist.

Spannungen infolge von Belastungen durch die Masse des tiefkalten Fluids müssen auf zulässige Spannungswerte begrenzt werden, wobei die Werkstoffeigenschaften des nachzuweisenden Bauteils bei der Betriebstemperatur zugrunde gelegt werden können.

Bei der Analyse müssen globale Unstetigkeiten der Konstruktion berücksichtigt werden, örtliche Spannungserhöhungen brauchen dagegen nicht betrachtet zu werden.

Im Anhang A sind die Terminologie und die zulässigen Grenzbeanspruchungen angegeben, wenn eine elastische Spannungsanalyse durchgeführt wird.

4.4 Bemessung durch experimentellen Nachweis

4.4.1 Allgemeines

Wenn die Bemessung durch experimentellen Nachweis erfolgt, müssen Prototypeinheiten hergestellt und wie nachstehend angegeben geprüft werden.

4.4.2 Verfahren für das experimentelle Prüfprogramm

Es ist ein Prüfprogramm zu erstellen, das die Betriebsanforderungen des ortsbeweglichen Kryo-Behälters berücksichtigt.

Das Prüfprogramm muß darauf abgestimmt sein, die Drucksicherheit und die Konstruktionssicherheit der Kryo-Behälter zu erfassen.

Jeder Prototyp eines ortsbeweglichen Kryo-Behälters muß den gleichen Qualitätsprüfungen unterzogen werden, wie sie für die Fertigung der Behälter gefordert werden.

Die tatsächlichen Wanddicken der kritischen, lasttragenden Bauteile müssen gemessen und aufgezeichnet werden, zusammen mit ihren mechanischen Werkstoffeigenschaften.

4.4.3 Prüfungen für die Drucksicherheit

4.4.3.1 Innenbehälter

Die Fähigkeit des Innenbehälters, dem Innendruck standzuhalten, muß aufgrund der nachstehenden Prüfung nachgewiesen werden.

Drei Innenbehälter, welche die mit dem Prüfdruck beaufschlagten Anschweißteile enthalten, sind einer Dauerprüfung von 10 000 Druckzyklen zwischen dem atmosphärischen Druck und einem Druck P_T mit

$$P_T \geq 1,3 (P_S + 1) \text{ bar}$$

zu unterziehen.

Nach dieser Prüfung müssen alle drei Behälter einer Druckprüfung von $3 (P_S + 1)$ bar standhalten.

Wenn die tatsächliche Dicke des Mantels größer ist als der Mindestwert oder der verwendete Werkstoff bessere mechanische Eigenschaften hat als vorgesehen, dann ist der Prüfdruck bei der Innendruckprüfung und bei der Dauerdruckprüfung im gleichen zu erhöhen.

4.4.3.2 Rohrleitungen und Zubehör

Eine spezifische Druckprüfung ist nicht erforderlich, wenn der Nenndruck der Rohrleitungen und Zubehörteile größer als der höchstzulässige Druck ($P_S + 1$) bar ist.

4.4.4 Prüfungen für die Konstruktionssicherheit

4.4.4.1 Allgemeines

Nach Durchführung der Prüfungen nach 4.4.4.2 und 4.4.4.3 darf der ortsbewegliche Kryo-Behälter keine bleibenden Verformungen aufweisen, die die Integrität des Behälters beeinträchtigen.

Nach Durchführung der Prüfungen entsprechend 4.4.4.4, 4.4.4.5 und 4.4.4.6 sind Beschädigungen und Verformungen des Behälters einschließlich Vakuumverlust zulässig, der ortsbewegliche Kryo-Behälter muß dicht und seine Sicherheitseinrichtungen müssen funktionstüchtig bleiben, ohne daß Fluid austritt, mit Ausnahme kleiner Mengen, die aus den Sicherheitseinrichtungen für den Schutz des Innenbehälters austreten.

Für den Nachweis der Konstruktionssicherheit darf ein einzelner Behälter benutzt werden, wenn aber bei irgendeiner Prüfung Beschädigungen oder Verformungen innerhalb der zulässigen Grenzen eintreten, darf bei den nachfolgenden Prüfungen ein unbeschädigter Behälter eingesetzt werden.

4.4.4.2 Hebeprüfung

Der ortsbewegliche Kryo-Behälter ist mit dem Zweifachen seiner Bruttomasse zu belasten.

Der ortsbewegliche Kryo-Behälter ist anzuheben, 5 Minuten angehoben hängen zu lassen und danach wieder auf dem Boden abzustellen. Die Prüfung muß für jede der verschiedenen festgelegten Hebearten durchgeführt werden.

Wenn ein ortsbeweglicher Kryo-Behälter mit Gurten oder Seilen angehoben werden kann, müssen diese 45° gegen die senkrechte Achse geneigt sein.

4.4.4.3 Stapelprüfung

Wenn eine Stapelung festgelegt ist, muß der ortsbewegliche Kryo-Behälter bei Füllung bis zum Fassungsvermögen — und ausgestattet mit seinem Gestell — der festgelegten Belastung standhalten.

Der ortsbewegliche Kryo-Behälter ist mit seiner Standfläche auf einen starren waagerechten Fußboden zu setzen und die geforderte Belastung mindestens 5 Minuten lang senkrecht auf der Oberseite des Gestells aufzubringen. Die aufgebrachte Last muß mindestens äquivalent dem 1,8fachen der höchsten Gesamtbruttomasse der festgelegten zu stapelnden Anzahl der Behälter sein.

4.4.4.4 Vertikale Fallprüfung

Diese Prüfung muß unter den Bedingungen nach 4.4.5 durchgeführt werden.

Der ortsbewegliche Kryo-Behälter muß aus einer Höhe von mindestens 1,2 m auf eine starre, ebene, nicht nachgebende, glatte und waagerechte Oberfläche entsprechend EN 962 so fallen, daß der Behälter mit seiner Standfläche auf den Fußboden auftrifft.

4.4.4.5 Kanten-Fallprüfung

Diese Prüfung muß unter den Bedingungen nach 4.4.5 durchgeführt werden.

Der ortsbewegliche Kryo-Behälter ist einer vertikalen Stoßprüfung so zu unterziehen, daß er auf einer starren, ebenen, nicht nachgebenden, glatten und waagerechten Oberfläche mit einer seiner Kanten auftrifft, die als Oberkante definiert werden kann, wenn sich der Behälter in einer bestimmungsgemäßen Lage befindet (z.B. die kürzere Oberkante, sofern sich eine solche angeben läßt).

Zur Durchführung der Prüfung wird der ortsbewegliche Kryo-Behälter mindestens 1,2 m über dem Erdboden an einem Punkt genau über dem Aufschlagbereich so aufgehängt, daß sich sein Schwerpunkt senkrecht über der Oberkante befindet.

Diese Prüfung muß durchgeführt werden, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- der Fassungsraum kleiner als 100 Liter ist;
- die Gesamtmasse kleiner als 150 kg ist;
- die Höhe des Schwerpunkts des ortsbeweglichen Kryo-Behälters bei Füllung bis zum Fassungsraum und einschließlich aller Gestellelemente größer als das Zweifache des kleineren seiner horizontalen Standfläche ist.

4.4.4.6 Horizontale Stoßprüfung

Diese Prüfung muß unter den Bedingungen von 4.4.5 zuerst durchgeführt werden.

Der ortsbewegliche Kryo-Behälter ist in seiner normalen Transportlage einer horizontalen Stoßprüfung nach einem der folgenden Verfahren zu unterziehen:

- a) Prüfung auf der schiefen Ebene nach EN 22244. Bei dieser Prüfung wird der ortsbewegliche Kryo-Behälter mit seiner Grundfläche auf einen Transportwagen gestellt, der eine um 10° gegen die Horizontale geneigte Ebene hinabrollt.

Die Horizontalgeschwindigkeit beim Stoß muß mindestens 2,6 m/s betragen. Der Stoß muß an einer starren, ebenen, nicht nachgebenden, glatten und senkrechten Fläche entsprechend 4.1 in EN 22244 erfolgen.

Der ortsbewegliche Kryo-Behälter muß nacheinander in zwei Richtungen unter rechten Winkeln anstoßen.

- b) Pendelprüfung nach EN 22244. Bei dieser Prüfung wird der ortsbewegliche Kryo-Behälter in seiner bestimmungsgemäßen Lage aufgehängt. Die Horizontalgeschwindigkeit beim Stoß muß mindestens 2,6 m/s betragen. Der Behälter muß gegen eine starre, nicht nachgebende, glatte, ebene und senkrechte Fläche stoßen. Der ortsbewegliche Kryo-Behälter muß nacheinander in zwei Richtungen unter rechten Winkeln gegen die Fläche stoßen.

- c) Fallprüfung. Bei dieser Prüfung muß der ortsbewegliche Kryo-Behälter in einer Lage im rechten Winkel zu seiner bestimmungsgemäßen Betriebslage aufgehängt und senkrecht aus einer Höhe von 0,35 m nacheinander auf zwei Seiten wie unter b) fallen gelassen werden.

ANMERKUNG: Dieses Prüfverfahren darf nur angewendet werden, wenn die Lage des Schwerpunkts in der Prüflage das Ergebnis nicht beeinflußt.

4.4.5 Prüfbedingungen

4.4.5.1 Der ortsbewegliche Kryo-Behälter muß mit einem Prüffluid gefüllt sein, das Wasser oder ein auf dem Typenschild festgelegtes Kryo-Behälter-Fluid sein kann. Die Prüfung darf bei einem beliebigen Innendruck des Behälters, der bis zu 90 % des höchstzulässigen Druckes betragen darf, und mit dem Außenmantel unter Vakuum durchgeführt werden.

Wird der ortsbewegliche Kryo-Behälter für die Prüfungen mit einem Fluid befüllt, dessen Dichte geringer ist als die des auf dem Typenschild des Behälters angegebenen dichtesten Fluids, so muß eine Korrektur nach 4.4.5.2 und 4.4.5.3 durchgeführt werden:

4.4.5.2 Wenn eine Mindestfallhöhe festgelegt ist, muß diese Höhe, damit sich die gleiche potentielle Energie ergibt, nach folgender Formel vergrößert werden:

$$H = H_0 \cdot (M_0/M) \quad (36)$$

dabei sind:

H_0 die festgelegte Fallhöhe, in Meter;

M_0 die Bemessungsbruttomasse auf dem Typenschild, in Kilogramm;

M die tatsächliche Bruttomasse bei der Prüfung, in Kilogramm.

4.4.5.3 Wenn eine Mindestgeschwindigkeit festgelegt ist, muß diese Geschwindigkeit beim Stoß, damit sich die gleiche kinetische Energie ergibt, nach folgender Formel erhöht werden:

$$V = V_0 \sqrt{M_0 / M} \quad (37)$$

dabei sind:

V_0 die festgelegte Geschwindigkeit beim Stoß, in Meter pro Sekunde;

M_0 die Bemessungsbruttomasse auf dem Typenschild, in Kilogramm;

M die tatsächliche Bruttomasse bei der Prüfung, in Kilogramm.

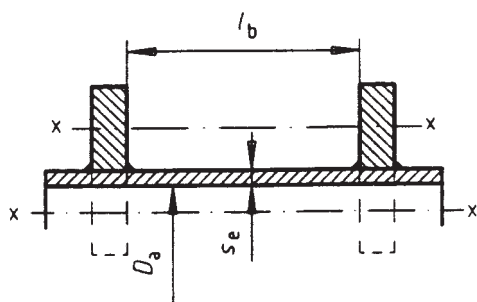


Bild 1: Rechteckringe als Versteifung

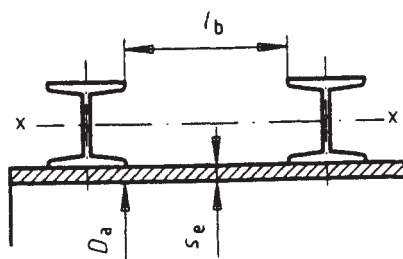


Bild 2: Profilringe als Versteifung

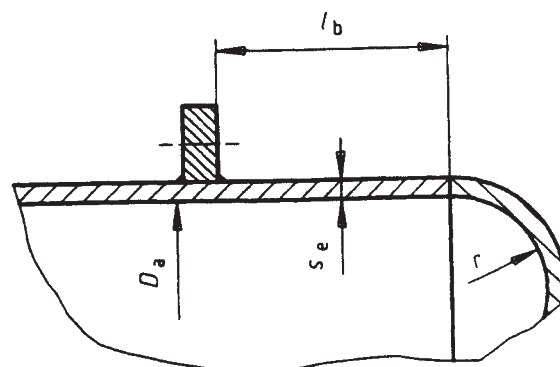


Bild 3: Gewölbter Boden

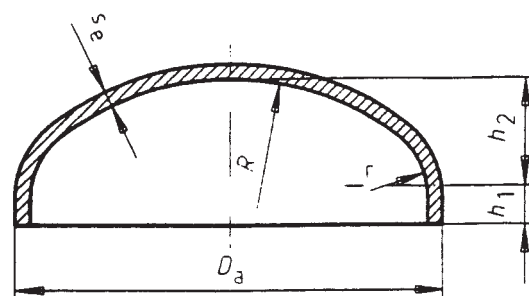


Bild 4: Gewölbter Vollboden

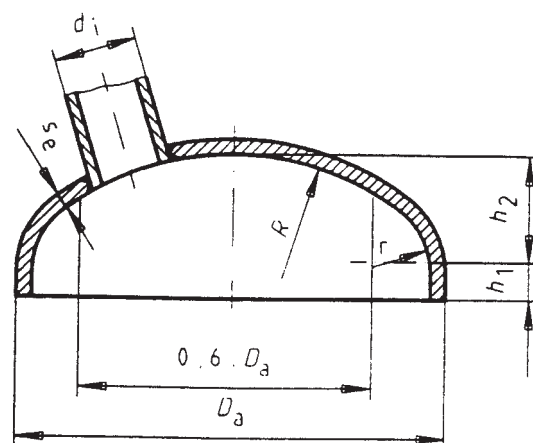


Bild 5: Gewölbter Boden mit Stützen

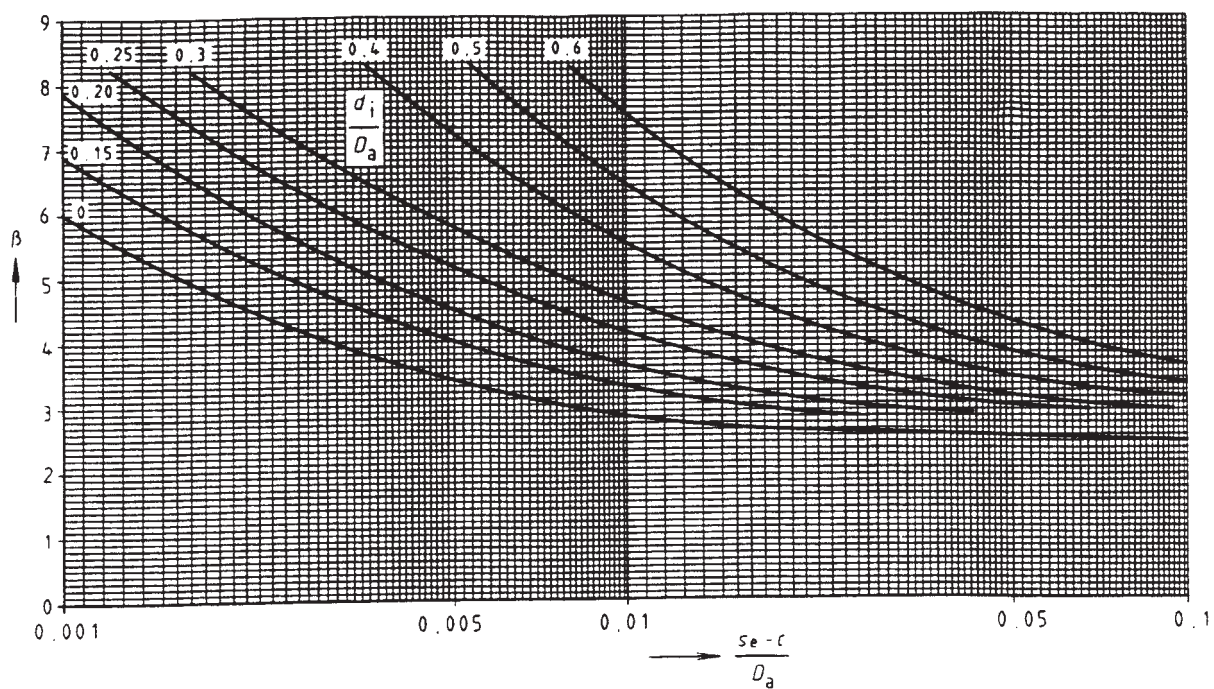


Bild 6a): Berechnungsbeiwerte β für 10%ige Klöpperböden

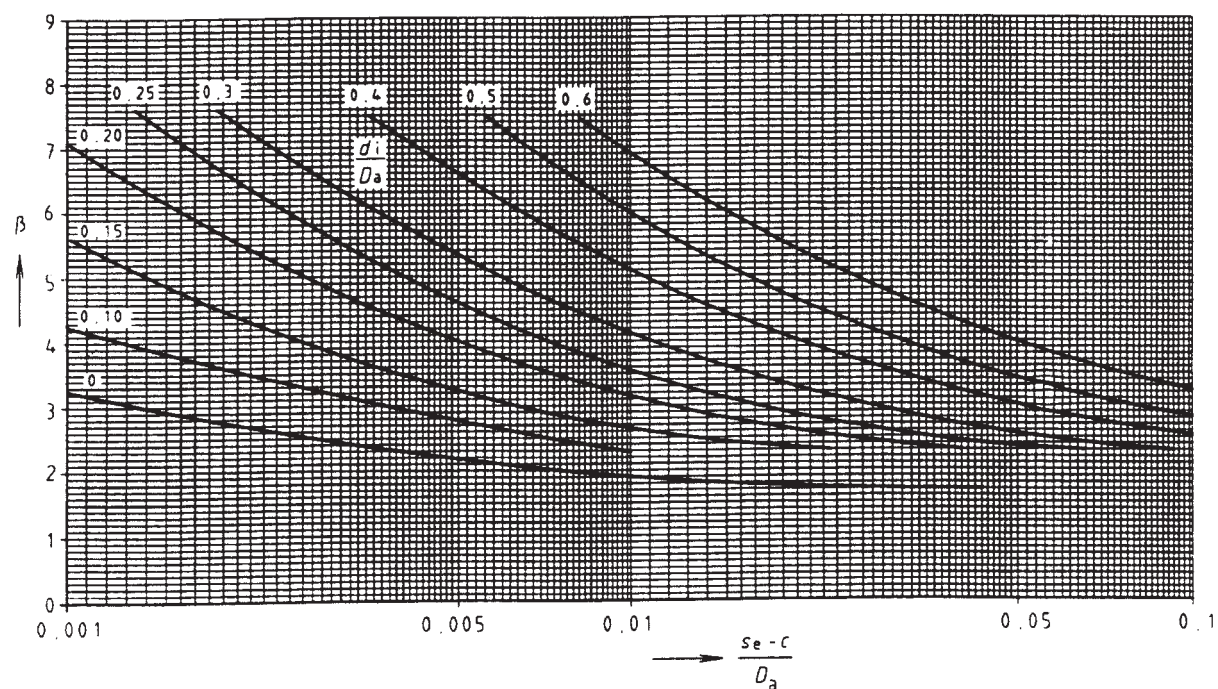


Bild 6b): Berechnungsbeiwerte β für Korbbogenböden 2 : 1

Bild 6: Berechnungsbeiwerte