E DIN EN ISO 21009-1:2024-07 (D/E)

Erscheinungsdatum: 2024-06-21

Kryo-Behälter - Stationäre vakuumisolierte Behälter - Teil 1: Konstruktion, Herstellung, Kontrolle und Prüfung (ISO/DIS 21009-1:2024); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 21009-1:2024

Cryogenic vessels - Static vacuum-insulated vessels - Part 1: Design, fabrication, inspection and tests (ISO/DIS 21009-1:2024); German and English version prEN ISO 21009-1:2024

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort ... **14**

Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den wesentlichen Anforderungen der abzudeckenden Richtlinie 2014/68/EU (Druckgeräterichtlinie) ... **15**

Vorwort ... **19**

1 Anwendungsbereich ... **21**

2 Normative Verweisungen ... **21**

3 Begriffe ... **22**

4 Symbole ... **26**

5 Allgemeine Anforderungen ... **28**

6 Mechanische Lasten ... **29**
6.1 Allgemeines ... **29**
6.2 Lasten während der Druckprüfung ... **29**

7 Chemische Einflüsse ... **30**

8 Thermische Bedingungen ... **30**

9 Werkstoff ... **30**
9.1 Allgemeines ... **30**
9.2 Werkstoffauswahl ... **30**
9.3 Abnahmeprüfzeugnis ... **31**
9.4 Werkstoffe für Außenmäntel und Betriebsgeräte ... **31**

10 Bemessung ... **31**
10.1 Möglichkeiten für die Bemessung ... **31**
10.1.1 Allgemeines ... **31**
10.1.2 Rechnerische Bemessung ... **31**
10.1.3 Rechnerische Bemessung bei Anwendung einer Druckverstärkung (sofern zulässig) ... **31**
10.1.4 Rechnerische und experimentelle Bauteilbemessung ... **31**
10.2 Allgemeine Bemessungsanforderungen ... **32**
10.2.1 Allgemeines ... **32**
10.2.2 Bemessungsspezifikationen und Dokumentation ... **32**
10.2.3 Bemessungslasten ... **33**
10.2.4 Inspektionsöffnungen ... **37**
10.2.5 Druckentlastung ... **37**
10.2.6 Ventile ... **39**
10.2.7 Füllverhältnis ... **39**
10.2.8 Elektrische Durchgängigkeit ... **39**
10.3 Rechnerische Bemessung ... **39**

10.3.1 Allgemeines ... 39
10.3.2 Innenbehälter ... 39
10.3.3 Außenmantel ... 42
10.3.4 Abstützungen und Anhebepunkte ... 43
10.3.5 Rohrleitungen und Ausrüstungsteile ... 43
10.3.6 Gleichungen für die Berechnung ... 44
10.3.7 Berechnungen für Betriebslasten ... 51

11 Herstellung ... 74
11.1 Allgemeines ... 74
11.2 Schneiden ... 74
11.3 Kaltumformen ... 74
11.3.1 Austenitischer nichtrostender Stahl ... 74
11.3.2 Ferritischer Stahl ... 75
11.4 Warmumformen ... 76
11.4.1 Allgemeines ... 76
11.4.2 Austenitischer nichtrostender Stahl ... 76
11.4.3 Ferritischer Stahl ... 76
11.5 Fertigungstoleranzen ... 78
11.5.1 Allgemeines ... 78
11.5.2 Kantenversatz von Blechen ... 79
11.5.3 Wanddicke ... 79
11.5.4 Gewölbte Böden ... 79
11.5.5 Zylinder ... 79
11.6 Schweißen ... 81
11.6.1 Allgemeines ... 81
11.6.2 Eignung ... 82
11.6.3 Temporäre Anschweißteile ... 82
11.6.4 Schweißverbindungen ... 82
11.7 Nicht geschweißte, dauerhafte Verbindungen ... 83

12 Inspektion und Prüfung ... 83
12.1 Qualitätssicherungsplan ... 83
12.1.1 Allgemeines ... 83
12.1.2 Inspektionsschritte bei der Fertigung eines Innenbehälters ... 83
12.1.3 Zusätzliche Inspektionsschritte bei der Fertigung eines stationären Kryo-Behälters ... 84
12.2 Probeplatten für die Produktionskontrolle ... 84
12.2.1 Anforderungen ... 84
12.2.2 Umfang der Prüfung ... 85
12.3 Zerstörungsfreie Prüfung ... 86
12.3.1 Allgemeines ... 86
12.3.2 Umfang der Prüfungen auf Oberflächenfehler ... 86
12.3.3 Umfang der Prüfungen auf Schweißnahtfehler ... 86
12.3.4 Zulässigkeitsgrenzen ... 87
12.4 Ausbesserung von Fehlern ... 88
12.4.1 Allgemeines ... 88
12.4.2 Von Hand geschweißte Nähte ... 89
12.4.3 Durch automatische Schweißverfahren hergestellte Schweißnähte ... 89
12.5 Druckprüfungen ... 89

13 Kennzeichnung und Etikettierung ... 90

14 Abnahme ... 91

15 Wiederkehrende Inspektion ... 91

Anhang A (normativ) Elastische Spannungsanalyse ... 92
A.1 Allgemeines ... 92
A.2 Begriffe ... 92
A.2.1 Spannungsgröße ... 92
A.2.2 Globale Unstetigkeit der Konstruktion ... 93

A.2.3 Örtliche Unstetigkeit der Konstruktion ... 93
A.2.4 Normalspannung ... 93
A.2.5 Schubspannung ... 93
A.2.6 Membranspannung ... 94
A.2.7 Primärspannung ... 94
A.2.8 Primäre örtliche Membranspannung ... 94
A.2.9 Sekundärspannung ... 94
A.2.10 Spitzenspannung ... 95
A.3 Grenzwert für die allgemeine Membrandrucklängsspannung ... 95
A.4 Spannungskategorien und Spannungsgrenzwerte für die allgemeine Anwendung ... 95
A.4.1 Allgemeines ... 95
A.4.2 Kategorie der allgemeinen primären Membranspannung ... 95
A.4.3 Kategorie der örtlichen primären Membranspannung ... 95
A.4.4 Kategorie der allgemeinen oder örtlichen primären Membranspannungen plus der primären Biegespannungen ... 96
A.4.5 Kategorie der primären plus sekundären Spannungen ... 96
A.4.6 Wärmespannung ... 96
A.5 Spezifische Kriterien, Belastungskategorien und Belastungsgrenzwerte für begrenzte Anwendung ... 97
A.5.1 Allgemeines ... 97
A.5.2 Befestigungen und Halterungen ... 97
A.5.3 Stutzen und Ausschnitte ... 97
A.5.4 Zusätzliche Spannungsgrenzen ... 97

Anhang B (normativ) Zusätzliche Anforderungen an 9 %-Nickel-Stahl ... 102
B.1 Allgemeines ... 102
B.2 Spezifische Anforderungen ... 102

Anhang C (normativ) Druckverstärkung von Behältern aus austenitischen nichtrostenden Stählen ... 104
C.1 Allgemeines ... 104
C.2 Anwendungsbereich ... 104
C.3 Werkstoffe ... 105
C.4 Bemessung ... 107
C.4.1 Allgemeines ... 107
C.4.2 Bemessung hinsichtlich innerem Überdruck ... 108
C.4.3 Bemessung hinsichtlich äußerem Überdruck ... 111
C.5 Herstellung und Inspektion ... 111
C.5.1 Druckverstärkungsverfahren ... 111
C.5.2 Aufzeichnung über die Durchführung ... 112
C.5.3 Schweißen ... 112
C.5.4 Zeichnungen der Druckbehälter ... 113
C.5.5 Inspektion und Prüfung ... 113
C.5.6 Typschild ... 114
C.6 Bemerkungen ... 114
C.6.1 Verstärkungstheorie ... 114
C.6.2 Kaltverfestigter Werkstoff ... 116
C.6.3 Herleitung von Gleichungen ... 117
C.6.4 Verformungen bei der Verstärkung ... 118

Anhang D (informativ) Druckbegrenzungssyteme ... 121

Anhang E (normativ) Weitere Anwendungsmöglichkeiten der Kalteigenschaften von Werkstoffen, um Druckbeanspruchungen standzuhalten ... 122
E.1 Allgemeines ... 122
E.2 Anwendungsbereich ... 122
E.3 Allgemeine Anforderungen ... 122
E.4 Spezifische Berechnungsverfahren ... 123

Anhang F (informativ) Spezifische Angaben zu Schweißnähten ... 126

F.1 Anwendungsbereich ... 126
F.2 Spezifische Angaben zu Schweißnähten ... 126
F.3 Anforderungen an den Sauerstoffbetrieb ... 127

Anhang G (normativ) Zusätzliche Anforderungen an brennbare Fluide ... 130

Anhang H (informativ) Entlüftungsöffnungen und Druckentlastungssysteme für brennbare Gase ... 131

Anhang I (normativ) Druckentlastungseinrichtungen für den Außenmantel ... 132
I.1 Anwendungsbereich ... 132
I.2 Anforderungen ... 132
I.2.1 Allgemeines ... 132
I.2.2 Bemessung ... 132
I.2.3 Werkstoffe ... 132
I.2.4 Prüfung ... 132
I.2.5 Inspektion ... 132
I.2.6 Kennzeichnung ... 133

Anhang J (normativ) Erhöhte Werkstoffeigenschaften für austenitischen nichtrostenden Stahl ... 134
J.1 Allgemeines ... 134
J.2 Höhere Streckgrenze bei 20 °C ... 134

Anhang K (informativ) Grundwerkstoffe ... 135

Anhang L (normativ) Zylinderschalen und gewölbte Böden unter äußerem Überdruck (Druck auf die konvexe Oberfläche) — Berechnung ... 145
L.1 Allgemeines ... 145
L.2 Verfahren 1 ... 145
L.2.1 Zylinderschalen ... 145
L.2.2 Gewölbte Böden ... 147
L.3 Verfahren 2 ... 147
L.3.1 Zylinderschalen ... 147

Anhang M (normativ) Bemessung von Ausschnitten in Zylindern, Kugeln und Kegeln — Berechnung ... 150
M.1 Allgemeines ... 150
M.2 Verfahren 1 ... 150
M.2.1 Allgemeines ... 150
M.2.2 Anwendungsbereich ... 150
M.3 Verfahren 2 ... 154
M.4 Ring- oder scheibenförmige Verstärkung oder erhöhte Manteldicke ... 158
M.5 Verstärkung durch erhöhte Stutzendicke ... 158
M.5.1 Allgemeines ... 158
M.5.2 Verstärkung durch eine Kombination von erhöhter Mantel- und Stutzendicke ... 159
M.5.3 Mehrere Ausschnitte ... 159

Anhang N (normativ) Bemessung von Böden hinsichtlich innerem Überdruck ... 160
N.1 Krempendicke von torisphärischen Böden und Dicke des Anschlusses von Halbkugelboden an den Mantel ... 160
N.1.1 Anforderung an die Dicke ... 160
N.1.2 Alternative Anforderung an die Dicke ... 160
N.1.3 Anforderung an gewölbte Böden, die aus Kalotten- und Krempenkomponenten zusammengeschweißt sind ... 161
N.2 Torisphärische Böden ... 161

Literaturhinweise ... 162

Bilder

Bild 1 — Versteifungsringe ... 52

Bild 2 — Profilringe als Versteifung **52**

Bild 3 — Gewölbte Böden **52**

Bild 4 — Behälterböden und Schweißnahtstellen **54**

Bild 5 — Bemessungsfaktoren β für 10%ige Klöpperböden **54**

Bild 6 — Bemessungsfaktoren β für 2 : 1 Korbbogenböden **55**

Bild 7 — Geometrie von Kegelmänteln **56**

Bild 8 — Geometrie eines Kegelausschnittes **56**

Bild 9 — Geometrische Größen bei Beanspruchung durch äußeren Überdruck **57**

Bild 10 — Zulässige Werte für einen konvergierenden Kegel **65**

Bild 11 — Ausschnittsbeiwert C_A für ebene Böden und Platten ohne zusätzliches Randmoment **67**

Bild 12 — Bemessungsfaktoren für nicht abgesteifte kreisförmige ebene Böden und Platten **68**

Bild 13 — Bemessungsfaktor C_E rechteckiger oder torisphärischer Platten **70**

Bild 14 — Erhöhte Dicke einer zylindrischen Schale **70**

Bild 15 — Erhöhte Dicke einer kegeligen Schale **70**

Bild 16 — Aufgesetzter Verstärkungsring **71**

Bild 17 — Eingesetzter Verstärkungsring **71**

Bild 18 — Scheibenförmige Verstärkung **71**

Bild 19 — Stutzenverstärkung **72**

Bild 20 — Ausgehalste Öffnung **73**

Bild 21 — Scheibe **74**

Bild 22 — Kantenversatz von Blechen **78**

Bild 23 — Einzelheiten der Lehre **81**

Bild A.1 — Spannungskategorien und Grenzwerte der Spannungsintensitäten **100**

Bild A.2 — Für Behälter, die äußerem Überdruck ausgesetzt sind **101**

Bild A.3 — Für Behälter, die keinem äußeren Überdruck ausgesetzt sind **101**

Bild C.1 — Spannungs-/Dehnung-Kurve für Kohlenstoffstahl **115**

Bild C.2 — Spannungs-/Dehnung-Kurve für austenitischen nichtrostenden Stahl **115**

Bild D.1 — Beispiele für Druckentlastungssysteme **121**

Bild F.1 — Sickennaht **128**

Bild F.2 — Zwischenboden **128**

Bild F.3 — Unterlegestreifen **129**

Bild F.4 — Verschluss ebener Böden (Beispiele) **129**

Bild F.5 — Nicht durchgehende Schweißnähte an Stutzen **129**

Bild M.1 — Berechnungsschema für Zylinderschalen **151**

Bild M.2 — Berechnungsschema für Kugelschalen **152**

Bild M.3 — Berechnungsschema für benachbarte Stutzen in einer Kugel oder in einer Längsrichtung eines Zylinders **152**

Bild M.4 — Öffnungen zwischen Längs- und Umfangsrichtung **153**

Bild M.5 — Berechnungsschema für benachbarte Stutzen in einer Kugel oder in einer Umfangsrichtung eines Zylinders **153**

Bild M.6 — Nomenklatur und Gleichungen für verstärkte Ausschnitte **157**

Bild M.7 — Scheibenförmige Verstärkung **158**

Tabellen

Tabelle ZA.1 — Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und Anhang I der Richtlinie 2014/68/EU (Druckgeräterichtlinie) **15**

Tabelle ZA.2 — Anwendbare Normen zur Begründung der in diesem Anhang ZA beschriebenen Konformitätsvermutung **16**

Tabelle 1 — Tiefgekühlte, jedoch ungiftige Gase **23**

Tabelle 2 — Zulässige Unrundheit **80**

Tabelle 3 — Höchste zulässige Ausbeulungen **81**

Tabelle 4 — Probekörper **85**

Tabelle 5 — Prüfung von Probeplatten aus Stahl **86**

Tabelle 6 — Umfang der Durchstrahlungsprüfung von Schweißnähten **87**

Tabelle 7 — Für vorwiegend statisch belastete Behälter **87**

Tabelle 8 — Zulässigkeitsgrenzen für ermüdungsbeanspruchte Behälter **88**

Tabelle A.1 — Einteilung der Spannungen für einige typische Fälle **98**

Tabelle C.1.1 — Austenitische nichtrostende Stähle, anerkannt für die Druckverstärkung von Kryo-Behältern bei Betriebstemperaturen von nicht weniger als −196 °C (Europäische Werkstoffbezeichnungen) **105**

Tabelle C.1.2 — Austenitische nichtrostende Stähle, anerkannt für die Druckverstärkung von Kryo-Behältern bei Betriebstemperaturen von nicht weniger als −196 °C (Nicht-Europäische Werkstoffbezeichnungen) 106

Tabelle C.2 — Prüfung von geschweißten Probeplatten im vorgedehnten Zustand 106

Tabelle C.3 — Änderung der Gleichungen für die Bemessung druckverstärkter Behälter 109

Tabelle C.4 — Spannungen und Dehnungen für verschiedene Lastfälle 119

Tabelle K.1.1 — Druckbehälter (Europäische Werkstoffbezeichnungen) 135

Tabelle K.1.2 — Druckbehälter (Nicht-Europäische Werkstoffbezeichnungen) 136

Tabelle K.2.1 — Rohre und Rohrarmaturen (Europäische Werkstoffbezeichnungen) 139

Tabelle K.2.2 — Rohre und Rohrarmaturen (Nicht-Europäische Werkstoffbezeichnungen) 139

Tabelle L.1 — Werte für den Faktor für den Kugelradius B_o eines elliptischen Bodens mit Druck auf der konvexen Seite 149