

# 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 (Druckgeräte-Richtlinie)..... | 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                | Probepplatten 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         |
| <b>Anhang B (normativ) Zusätzliche Anforderungen an 9 %-Nickel-Stahl .....</b>  |   | <b>102</b> |
| B.1   | Allgemeines .....   | 102        |
| B.2   | Spezifische Anforderungen .....   | 102        |
| <b>Anhang C (normativ) Druckverstärkung von Behältern aus austenitischen nichtrostenden Stählen .....</b>                                     |   | <b>104</b> |
| 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        |
| <b>Anhang D (informativ) Druckbegrenzungssysteme .....</b>  |   | <b>121</b> |
| <b>Anhang E (normativ) Weitere Anwendungsmöglichkeiten der Kalteigenschaften von Werkstoffen, um Druckbeanspruchungen standzuhalten .....</b> |   | <b>122</b> |
| E.1   | Allgemeines .....   | 122        |
| E.2   | Anwendungsbereich .....   | 122        |
| E.3   | Allgemeine Anforderungen .....  | 122        |
| E.4   | Spezifische Berechnungsverfahren .....  | 123        |
| <b>Anhang F (informativ) Spezifische Angaben zu Schweißnähten .....</b>   |   | <b>126</b> |

|  |  |     |
|--|--|-----|
| 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 Halbkugelböden 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 |
| <br>   |  |     |
| <b>Bilder</b>  |  |     |
| Bild 1 — Versteifungsringe.....  |  | 52  |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Bild 2 — Profilringe als Versteifung .....</b>   | <b>52</b>  |
| <b>Bild 3 — Gewölbte Böden .....</b>  | <b>52</b>  |
| <b>Bild 4 — Behälterböden und Schweißnahtstellen .....</b>  | <b>54</b>  |
| <b>Bild 5 — Bemessungsfaktoren <math>\beta</math> für 10%ige Klöpperböden .....</b>                                 | <b>54</b>  |
| <b>Bild 6 — Bemessungsfaktoren <math>\beta</math> für 2 : 1 Korbbogenböden .....</b>                                | <b>55</b>  |
| <b>Bild 7 — Geometrie von Kegelmänteln .....</b>  | <b>56</b>  |
| <b>Bild 8 — Geometrie eines Kegelausschnittes.....</b>  | <b>56</b>  |
| <b>Bild 9 — Geometrische Größen bei Beanspruchung durch äußeren Überdruck.....</b>                                  | <b>57</b>  |
| <b>Bild 10 — Zulässige Werte für einen konvergierenden Kegel .....</b>  | <b>65</b>  |
| <b>Bild 11 — Ausschnittsbeiwert <math>C_A</math> für ebene Böden und Platten ohne zusätzliches Randmoment .....</b> | <b>67</b>  |
| <b>Bild 12 — Bemessungsfaktoren für nicht abgesteifte kreisförmige ebene Böden und Platten .....</b>                | <b>68</b>  |
| <b>Bild 13 — Bemessungsfaktor <math>C_E</math> rechteckiger oder torisphärischer Platten .....</b>                  | <b>70</b>  |
| <b>Bild 14 — Erhöhte Dicke einer zylindrischen Schale .....</b>   | <b>70</b>  |
| <b>Bild 15 — Erhöhte Dicke einer kegeligen Schale.....</b>  | <b>70</b>  |
| <b>Bild 16 — Aufgesetzter Verstärkungsring .....</b>  | <b>71</b>  |
| <b>Bild 17 — Eingesetzter Verstärkungsring.....</b>   | <b>71</b>  |
| <b>Bild 18 — Scheibenförmige Verstärkung.....</b>   | <b>71</b>  |
| <b>Bild 19 — Stützenverstärkung.....</b>  | <b>72</b>  |
| <b>Bild 20 — Ausgehalste Öffnung .....</b>  | <b>73</b>  |
| <b>Bild 21 — Scheibe .....</b>  | <b>74</b>  |
| <b>Bild 22 — Kantenversatz von Blechen .....</b>  | <b>78</b>  |
| <b>Bild 23 — Einzelheiten der Lehre .....</b>   | <b>81</b>  |
| <b>Bild A.1 — Spannungskategorien und Grenzwerte der Spannungsintensitäten.....</b>                                 | <b>100</b> |
| <b>Bild A.2 — Für Behälter, die äußerem Überdruck ausgesetzt sind .....</b>   | <b>101</b> |
| <b>Bild A.3 — Für Behälter, die keinem äußeren Überdruck ausgesetzt sind.....</b>                                   | <b>101</b> |
| <b>Bild C.1 — Spannungs-/Dehnung-Kurve für Kohlenstoffstahl .....</b>   | <b>115</b> |
| <b>Bild C.2 — Spannungs-/Dehnung-Kurve für austenitischen nichtrostenden Stahl.....</b>                             | <b>115</b> |
| <b>Bild D.1 — Beispiele für Druckentlastungssysteme .....</b>   | <b>121</b> |
| <b>Bild F.1 — Sickennaht.....</b>   | <b>128</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Bild F.2 — Zwischenboden.....</b>   | <b>128</b> |
| <b>Bild F.3 — Unterlegestreifen .....</b>  | <b>129</b> |
| <b>Bild F.4 — Verschluss ebener Böden (Beispiele).....</b>   | <b>129</b> |
| <b>Bild F.5 — Nicht durchgehende Schweißnähte an Stützen.....</b>  | <b>129</b> |
| <b>Bild M.1 — Berechnungsschema für Zylinderschalen .....</b>  | <b>151</b> |
| <b>Bild M.2 — Berechnungsschema für Kugelschalen.....</b>  | <b>152</b> |
| <b>Bild M.3 — Berechnungsschema für benachbarte Stützen in einer Kugel oder in einer<br/>Längsrichtung eines Zylinders .....</b>   | <b>152</b> |
| <b>Bild M.4 — Öffnungen zwischen Längs- und Umfangsrichtung.....</b>   | <b>153</b> |
| <b>Bild M.5 — Berechnungsschema für benachbarte Stützen in einer Kugel oder in einer<br/>Umfangsrichtung eines Zylinders .....</b>   | <b>153</b> |
| <b>Bild M.6 — Nomenklatur und Gleichungen für verstärkte Ausschnitte.....</b>  | <b>157</b> |
| <b>Bild M.7 — Scheibenförmige Verstärkung.....</b>   | <b>158</b> |
| <br><b>Tabellen</b>  |            |
| <b>Tabelle ZA.1 — Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und Anhang I der<br/>Richtlinie 2014/68/EU (Druckgeräterichtlinie).....</b>   | <b>15</b>  |
| <b>Tabelle ZA.2 — Anwendbare Normen zur Begründung der in diesem Anhang ZA beschriebenen<br/>Konformitätsvermutung .....</b>   | <b>16</b>  |
| <b>Tabelle 1 — Tiefgekühlte, jedoch ungiftige Gase.....</b>  | <b>23</b>  |
| <b>Tabelle 2 — Zulässige Unrundheit .....</b>  | <b>80</b>  |
| <b>Tabelle 3 — Höchste zulässige Ausbeulungen .....</b>  | <b>81</b>  |
| <b>Tabelle 4 — Probekörper.....</b>  | <b>85</b>  |
| <b>Tabelle 5 — Prüfung von Probeplatten aus Stahl.....</b>   | <b>86</b>  |
| <b>Tabelle 6 — Umfang der Durchstrahlungsprüfung von Schweißnähten .....</b>   | <b>87</b>  |
| <b>Tabelle 7 — Für vorwiegend statisch belastete Behälter .....</b>  | <b>87</b>  |
| <b>Tabelle 8 — Zulässigkeitsgrenzen für ermüdungsbeanspruchte Behälter .....</b>   | <b>88</b>  |
| <b>Tabelle A.1 — Einteilung der Spannungen für einige typische Fälle.....</b>  | <b>98</b>  |
| <b>Tabelle C.1.1 — Austenitische nichtrostende Stähle, anerkannt für die Druckverstärkung von<br/>Kryo-Behältern bei Betriebstemperaturen von nicht weniger als -196 °C<br/>(Europäische Werkstoffbezeichnungen) .....</b> | <b>105</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>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) .....</b> | <b>106</b> |
| <b>Tabelle C.2 — Prüfung von geschweißten Probepplatten im vorgedehnten Zustand .....</b>  | <b>106</b> |
| <b>Tabelle C.3 — Änderung der Gleichungen für die Bemessung druckverstärkter Behälter .....</b>  | <b>109</b> |
| <b>Tabelle C.4 — Spannungen und Dehnungen für verschiedene Lastfälle.....</b>  | <b>119</b> |
| <b>Tabelle K.1.1 — Druckbehälter (Europäische Werkstoffbezeichnungen) .....</b>  | <b>135</b> |
| <b>Tabelle K.1.2 — Druckbehälter (Nicht-Europäische Werkstoffbezeichnungen) .....</b>  | <b>136</b> |
| <b>Tabelle K.2.1 — Rohre und Rohrarmaturen (Europäische Werkstoffbezeichnungen) .....</b>  | <b>139</b> |
| <b>Tabelle K.2.2 — Rohre und Rohrarmaturen (Nicht-Europäische Werkstoffbezeichnungen).....</b>   | <b>139</b> |
| <b>Tabelle L.1 — Werte für den Faktor für den Kugelradius <math>B_0</math> eines elliptischen Bodens mit Druck auf der konvexen Seite.....</b>   | <b>149</b> |