DIN EN 14917:2026-11 (D)

Kompensatoren mit metallischen Bälgen für Druckanwendungen; Deutsche Fassung EN 14917:2021+A1:2026+AC:2026

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort ... 15

Einleitung ... 17

1 Anwendungsbereich ... 18

2 Normative Verweisungen ... 18

3 Begriffe ... 22

4 Klassifizierung ... 25
4.1 Klassifizierung von Kompensatoren ... 25
4.1.1 Allgemeines ... 25
4.1.2 Axial-Kompensator ... 25
4.1.3 Angular-Kompensator ... 25
4.1.4 Lateral-Kompensator ... 25
4.1.5 Universal-Kompensator ... 25
4.1.6 Druckentlastete Ausführungen (Axial- oder Universal-Kompensatoren) ... 25
4.2 Klassifizierung der Bauteile von Kompensatoren ... 29
4.2.1 Drucktragende Hauptteile (A) ... 29
4.2.2 Andere drucktragende Teile (B), die nicht drucktragende Hauptteile sind ... 29
4.2.3 Anbauteile an drucktragenden Haupteilen und an anderen drucktragenden Teilen (C) ... 29
4.2.4 Andere Teile (D) ... 29

5 Werkstoffe ... 31
5.1 Allgemeines ... 31
5.1.1 Werkstoffe für drucktragende Teile ... 31
5.1.2 Werkstoffe für Anbauteile an drucktragenden Teilen ... 31
5.1.3 Werkstoffe für nicht drucktragende Teile ... 31
5.2 Drucktragende Teile ... 31
5.2.1 Balg ... 31
5.2.2 Andere drucktragende Teile ... 32
5.2.3 Duktilität ... 32
5.2.4 Sprödbruch ... 33
5.3 Werkstoffdokumentation ... 36

6 Auslegung ... 37
6.1 Allgemeines ... 37
6.1.1 Symbole ... 37
6.1.2 Grundlegende Auslegungskriterien ... 43
6.1.3 Zulässige Spannungen ... 43
6.1.4 Zusätzliche Lasten ... 46
6.2 Balgausführung ... 47
6.2.1 Zweck ... 47
6.2.2 Anwendungsbedingungen ... 47
6.2.3 Auslegung von unverstärktem Balg mit U-Profil ... 67
6.2.4 Ausführung von verstärktem Balg mit U-Profil ... 83
6.2.5 Ausführung von Torusbälgen ... 87
6.2.6 Ermüdung ... 94
6.2.7 Bälge unter Einfluss von Bewegungen ... 99
6.2.8 Äquivalente axiale Bewegung je Welle ... 104

6.2.9 Kräfte und Momente an druckbeaufschlagten Kompensatoren 110
6.2.10 Bälge mit Torsionsbeanspruchung (unverstärkt oder verstärkt) 121
6.3 Leitrohr 122
6.3.1 Anwendungsbereich 122
6.3.2 Zusätzliche Symbole 123
6.3.3 Strömungsgeschwindigkeit 123
6.3.4 Auslegungsbedingungen 125
6.4 Verankerungen 126
6.4.1 Allgemeines 126
6.4.2 Auslegungsparameter 127
6.4.3 Verankerungsteile 128
6.4.4 Dauerhafte Verbindungen 129

7 Herstellung 132
7.1 Allgemeines 132
7.2 Werkstoffe 132
7.2.1 Allgemeines 132
7.2.2 Rückverfolgbarkeit des Werkstoffes 132
7.3 Dauerhafte Verbindungen 132
7.3.1 Allgemeines 132
7.3.2 Verfahren und Bedienungspersonal 133
7.3.3 Reparatur und Nachbesserung bei der Herstellung 133
7.4 Balgformung 134
7.4.1 Umformverfahren 134
7.4.2 Wärmebehandlung 135
7.5 Toleranzen 136
7.5.1 Allgemeines 136
7.5.2 Balg 136
7.5.3 Kompensator 137
7.6 Fertigungsbegleitende Prüfungen 138

8 Prüfungen, Kontrollen und Dokumentation 138
8.1 Allgemeines 138
8.2 Abkürzungen 138
8.3 Dokumentation 138
8.4 Kontrollen und Prüfungen während der Fertigung 139
8.4.1 Allgemeines 139
8.4.2 Werkstoffe 139
8.4.3 Dauerhafte Verbindungen 140
8.4.4 Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißnähten 141
8.5 ZfP-Verfahren 147
8.5.1 Bewertungsgruppe 147
8.5.2 Zulässigkeitsgrenzen und Prüfverfahren 148
8.5.3 Qualifizierung und Zulassung des ZfP-Personals 148
8.5.4 Dokumentation der zerstörungsfreien Prüfung 148
8.6 Abnahme und Dokumentation 152
8.6.1 Allgemeines 152
8.6.2 Endprüfung 152
8.7 Dokumentation 154
8.7.1 Schlussdokumentation 154
8.7.2 Konformitätserklärung/Zertifizierung 155
8.7.3 Betriebsanleitung 155

9 Kennzeichnung und Beschriftung 155

10 Handhabung und Einbau 156
10.1 Allgemeine Hinweise 156
10.2 Verpackung und Lagerung 156
10.3 Einbau 156
10.4 Unverankerte Kompensatoren 157

10.5 Verankerte Kompensatoren 157

Anhang A (informativ) Kategorien von Kompensatoren 158
A.1 Allgemeines 158
A.2 Bestimmung der Kategorie von Kompensatoren 158
A.3 Fluidgruppen 158
A.3.1 Allgemeines 158
A.3.2 Gruppe 1 159
A.3.3 Gruppe 2 159
A.4 Technische Anforderungen 159
A.4.1 Kompensatoren für Behälter 159
A.4.2 Kompensatoren für Rohrleitungen 160
A.4.3 Gute Ingenieurpraxis (GIP) 160
A.5 Kompensatorkategorie 160

Anhang B (informativ) Spezifikation für die Werkstoffe 1.4828, 1.4876, 2.4360 und 2.4858 162

Anhang C (informativ) Einbau von Kompensatoren in Rohrleitungen oder Druckbehälter 169
C.1 Allgemeines 169
C.2 Besondere Symbole und Begriffe 170
C.3 Anwendungskriterien für Kompensatoren in Rohrleitungen 171
C.3.1 Allgemeines 171
C.3.2 Verwendung von Axial-Kompensatoren 171
C.3.3 Verwendung von verankerten Kompensatoren 178
C.3.4 Verwendung von Universal-Kompensatoren 183
C.3.5 Unbestimmte Anordnungen von Kompensatoren 186
C.4 Anwendungskriterien für Kompensatoren in Druckbehältern 189
C.4.1 Allgemeines 189
C.4.2 In den Mantel eingebaute Axial-Kompensatoren 189
C.4.3 Axial-Kompensator am Schwimmkopf 190

Anhang D (informativ) Berechnungsverfahren für Rohrleitungssysteme mit Kompensatoren 191
D.1 Allgemeines 191
D.1.1 Einführende Bemerkungen 191
D.1.2 Bestimmen von Bewegungswerten 191
D.1.3 Wärmedehnung 191
D.2 Näherungsweise Berechnung von Balgbewegungen 193
D.2.1 Allgemeines 193
D.2.2 Gelenksysteme 193
D.2.3 Definitionen 193
D.3 Genaue Berechnung von Balgbewegungen 198
D.3.1 Zwei Einfachgelenke in einem ebenen System (Z-System) 198
D.3.2 Zwei Kardangelenke in einem räumlichen System (räumliches Z-System) 199
D.3.3 Drei Gelenke in einem U-förmigen ebenen System (U-System) 200
D.3.4 Drei Gelenke in einem ebenen System (L-System) 202
D.3.5 Drei Gelenke in einem räumlichen System (räumliches Z-System) 204
D.4 Berechnung von Kräften und Momenten 207

Anhang E (informativ) Erläuterungen zur Auslegung von Kompensatorbälgen 208
E.1 Allgemeines 208
E.2 Auslegung durch Berechnung 208
E.3 Balgausführungen 209
E.3.1 Wellenform 209
E.3.2 Anzahl der Lagen 209
E.4 Erwartete Lebensdauer 210
E.5 Instabilität 210
E.5.1 Allgemeines 210
E.5.2 Säuleninstabilität 210
E.5.3 Welleninstabilität 211
E.5.4 Ausknicken 211

E.6 Federrate des Balges 211

Anhang F (informativ) Vorgehensweise bei der Erstellung einer Ermüdungskurve 214
F.1 Allgemeines 214
F.2 Verfahren für die Erstellung einer Ermüdungskurve für Kompensatorbälge 214
F.2.1 Allgemeines 214
F.2.2 Anzahl an Prüfungen 214
F.2.3 Extrapolationsbereich 214
F.2.4 Herstellungsverfahren 214
F.2.5 Balgwerkstoff 215
F.3 Prüfungen 215
F.3.1 Bewegung 215
F.3.2 Prüfdruck 215
F.3.3 Weitere Prüfbedingungen 216
F.3.4 Prüfeinrichtung für die Lastspielprüfung 216
F.4 Auswertung der Prüfergebnisse 217
F.5 Lineare Regression 221

Anhang G (informativ) Polynomische Näherungen für die Koeffizienten C_p, C_f, C_d 223
G.1 Koeffizient C_p 223
G.2 Koeffizient C_f 224
G.3 Koeffizient C_d 225
G.4 Lineare Interpolation 226

Anhang H (informativ) Erforderliche Auslegungsdaten und Angaben 228
H.1 Erforderliche Auslegungsbedingungen 228
H.2 Zusätzliche Angaben 228

Anhang I (informativ) Risikoanalysen für Kompensatoren 229

Anhang J (informativ) Zusätzliche Werkstoffeigenschaften 231

Anhang K (normativ) Berechnung der Anbauteile 235
K.1 Allgemeines 235
K.2 Zusätzliche Symbole 235
K.3 Kraft aus Druck 239
K.4 Zugstange 239
K.4.1 Allgemeines 239
K.4.2 Zugstange unter Zugbeanspruchung 240
K.4.3 Zugstange unter Druckbeanspruchung 241
K.5 Bolzen 241
K.6 Zuglasche mit Bohrung 244
K.6.1 Allgemeines 244
K.6.2 Kräfte aus Druck 244
K.6.3 Spannungen aus Reaktionskraft 245
K.7 Kardankasten und -ring 246
K.7.1 Allgemeines 246
K.7.2 Spannungen in gebohrtem Querschnitt 246
K.7.3 Kardankasten 247
K.7.4 Kardanring 251
K.8 Ankerplatte 252
K.8.1 Ankerplatte (offen/geschlossen) mit zwei Verankerungen 252
K.8.2 Kreisförmige Ankerplatte mit 3 oder mehr Zugstangen, gültig bis DN 800 261
K.9 Zuglaschenplattenverbindung (Einfachgelenk/Kardankasten/-ring) 264
K.9.1 Allgemeines 264
K.9.2 Zuglaschenplatte für formschlüssige Verbindung 264
K.9.3 Zuglaschenplatte für geschweißte Knopflochverbindung 268
K.10 Zugstangen- und Zuglaschenverankerung auf Flanschen 269
K.10.1 Einteiliger Flansch 269
K.10.2 An den Flansch geschweißte Platte 273
K.11 Steg/Stützblech 276

K.12 Steg/Stützblech mit Verstärkungsringen 276
K.12.1 Allgemeines 276
K.12.2 Grundlegende Definitionen 278
K.12.3 Spannungen in den Stegen/Stützblechen 279
K.12.4 Spannungen in Ring und Rohr 280
K.12.5 Spannungen in Schweißnähten a_7, a_8 und a_9 280

Anhang L (informativ) Benchmark-Berechnungen 282

Anhang ZA (informativ) A1 Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2014/68/EU 302

Literaturhinweise 304

Bilder

Bild 1 — Klassifizierung der Bauteile von Kompensatoren 30

Bild 2 — Erforderliche Werkstoffdokumentation 37

Bild 3 — Zulässige Spannungen bei hohen Temperaturen 45

Bild 4 — Innen- und Außenkrempe einer Halbwelle 62

Bild 5 — Biegespannungskoeffizient C_p 65

Bild 6 — Federratenkoeffizient C_f 66

Bild 7 — Bewegungskoeffizient C_d 67

Bild 8 — Unverstärkter Balg mit U-Profil 68

Bild 9 — Mögliche Wellenformen in der neutralen Balgstellung 69

Bild 10 — Gewellter Teil der Balglänge und axiale Bewegungen, dargestellt für einen Balg ($n_B = 1$) 72

Bild 11 — Querschnitt für das Trägheitsmoment I_{xx} 77

Bild 12 — Bälge mit U-Profil und mit Umfangsnähten 79

Bild 13 — U-förmige Wellen mit zylindrischen Übergängen 80

Bild 14 — Verstärkter Balg mit U-Profil 84

Bild 15 — Verstärkungselement mit spezifischem Querschnitt 85

Bild 16 — Torusbalg 88

Bild 17 — Koeffizienten B_1, B_2, B_3 für die Berechnung 90

Bild 18 — Wirksame Länge und Fläche 91

Bild 19 — Ermüdungskurven, welche die zulässige Lastspielzahl für die verschiedenen Werkstoffklassen angeben 97

Bild 20 — Prinzipielle Bewegungen, Kräfte und Momente am Balg 99

Bild 21 — Balg mit axialer Bewegung x **100**

Bild 22 — Einzelbalg mit lateraler Bewegung y **101**

Bild 23 — Lateral-/Universal-Kompensator mit zwei Bälgen und einem Zwischenrohr **102**

Bild 24 — Balg mit angularer Bewegung θ **103**

Bild 25 — Δq nur aus Stauchung, ohne Vorspannung **104**

Bild 26 — Δq aus Streckung und Stauchung, mit Vorspannung Δq_e **105**

Bild 27 — Δq nur aus Streckung, mit Vorspannung Δq_e (Betriebsbedingungen) **105**

Bild 28 — Δq nur aus Stauchung, mit Vorspannung Δq_c (Betriebsbedingungen) **105**

Bild 29 — Kraft-Weg-Kennlinie eines Balges mit axialer Bewegung **110**

Bild 30 — Kompensator mit geführtem Zwischenrohr **118**

Bild 31 — Typische Schweißnähte von Bälgen und Balganschlüssen **140**

Bild 32 — Typische Schweißverbindungen von Bälgen mit Umfangsnaht **141**

Bild C.1 — Anwendungsgrenzen für Axial-Kompensatoren **173**

Bild C.2 — Axial-Kompensatoren, die keine axiale Druckkraft aufnehmen **173**

Bild C.3 — Einzelner Axial-Kompensator neben einem Reduzierstück in der Strecke mit dem großen Durchmesser **174**

Bild C.4 — Einzelner Axial-Kompensator an einer Rohrleitung mit Versatz **174**

Bild C.5 — Höchstzulässige Abstände der Rohrführungen **177**

Bild C.6 — Druckentlasteter Axial-Kompensator in einem geraden Leitungsabschnitt **177**

Bild C.7 — Druckentlasteter Axial-Kompensator (eckentlastet) **178**

Bild C.8 — Druckentlasteter Axial-Kompensator (mit T-Stück) **178**

Bild C.9 — Angular-Kompensatoren mit zwei Einfachgelenken in einem ebenen System **179**

Bild C.10 — Angular-Kompensatoren mit drei Einfachgelenken in einem ebenen System **180**

Bild C.11 — Angular-Kompensatoren mit zwei Kardangelenken in einem räumlichen System **180**

Bild C.12 — Angular-Kompensatoren mit zwei Kardangelenken und einem Einfachgelenk in einem räumlichen System **181**

Bild C.13 — Lateral-Kompensator mit zwei Zugstangen in einem räumlichen System **182**

Bild C.14 — Lateral-Kompensator mit drei oder mehr Zugstangen in einem räumlichen System **182**

Bild C.15 — Lateral-Kompensator mit zwei Zugstangen und einem Angular-Kompensator mit Einfachgelenk **183**

Bild C.16 — Unverankerter Universal-Kompensator (Bewegungsmöglichkeiten) **184**

Bild C.17 — Druckentlasteter Universal-Kompensator an einem Prozessbehälter 185

Bild C.18 — Druckentlasteter Universal-Kompensator an einer Turbine 185

Bild C.19 — Druckentlasteter Universal-Kompensator zwischen zwei Prozessbehältern 186

Bild C.20 — Unbestimmte Leitungssysteme mit Axial-Kompensatoren (unzulässige Anordnung!) .. 186

Bild C.21 — Vier Angular-Kompensatoren in einem System mit U-Bogen 187

Bild C.22 — Angular-Kompensator mit Kardangelenk in einem räumlichen System (unzulässige Anordnung!) 188

Bild C.23 — Lateral-Kompensator mit gelenkig gelagerten Zugstangen in einem räumlichen System 189

Bild C.24 — Axial-Kompensator im Behältermantel 189

Bild C.25 — Axial-Kompensator am Schwimmkopf 190

Bild D.1 — Wärmedehnung von metallischen Werkstoffen 192

Bild D.2 — Angulare Bewegung in Gelenksystemen 198

Bild D.3 — Zwei Einfachgelenke in einem ebenen System (Z-System) 199

Bild D.4 — Zwei Kardangelenke in einem räumlichen System (räumliches Z-System) 200

Bild D.5 — U-System 201

Bild D.6 — L-System 202

Bild D.7 — Räumliches System (Z-System) 205

Bild E.1 — Säuleninstabilität 211

Bild E.2 — Welleninstabilität 211

Bild E.3 — Hystereseschleife der Axial-Federrate eines Balges 212

Bild F.1 — Anordnung für die axiale Lastspielprüfung 217

Bild F.2 — Ausgleichskurve 219

Bild F.3 — Bestimmung der Schritt 4–Kurve 220

Bild F.4 — Bestimmung der Schritt 5–Kurve (Ermüdungskurve) 221

Bild G.1 — Werte für die lineare Interpolation 227

Bild K.1 — Kraftverteilung auf Bolzen 242

Bild K.2 — Bolzen zum Verbinden von Zuglaschen 242

Bild K.3 — Zuglasche mit Bohrung 244

Bild K.4 — Bauarten von Zuglaschen 245

Bild K.5 — Kardankasten A1 248

Bild K.6 — Kardanring 251

Bild K.7 — Ankerplatte mit 2 Verankerungen 253

Bild K.8 — Querschnitte für formschlüssige Verbindung A1 256

Bild K.9 — Querschnitte für geschweißte Knopflochverbindung 259

Bild K.10 — Kreisplatte mit 3 oder mehr Zugstangen 262

Bild K.11 — Zuglaschenplatte für formschlüssige Verbindung A1 265

Bild K.12 — Zuglaschenplatte für geschweißte Knopflochverbindung 268

Bild K.13 — Flansch mit 2 Zugstangen 270

Bild K.14 — Kreisförmiger Flansch mit mehr als 2 Zugstangen 272

Bild K.15 — An den Flansch geschweißte Platte 274

Bild K.16 — Stege/Stützbleche mit Verstärkungsringen A1 277

Tabellen

Tabelle 1 — Bauarten von Kompensatoren 26

Tabelle 2 — Bevorzugte Werkstoffe für Balgelemente und andere drucktragende Teile und deren Temperaturgrenzen (siehe auch Tabelle 3) 33

Tabelle 3 — Werkstoffnormen für andere drucktragende Teile 35

Tabelle 4 — Symbole 37

Tabelle 5 — Zulässige Spannungen 44

Tabelle 6 — Auf die Lebensdauer bezogener Sicherheitsbeiwert 46

Tabelle 7 — Balg-Anschlussnähte 49

Tabelle 8 — Werkstoffabhängige Parameter zur Berechnung der Kaltverfestigung 53

Tabelle 9 — Typische Werte für den Umformfaktor η (informativ) 56

Tabelle 10 — Versteifungswirkung unterschiedlicher Anbauteile 57

Tabelle 11 — Zusätzliche Symbole 90

Tabelle 12 — Parameter der Ermüdungsgleichungen 95

Tabelle 13 — Bevorzugte Werkstoffe für Bälge (siehe Tabelle 2 und Tabelle 8) bezogen auf die vier Werkstoffklassen 97

Tabelle 14 — Werkstoffabhängige Parameter für die Spannung/Dehnung-Kennlinie (geringe Dehnung) 111

Tabelle 15 — Zusätzliche Symbole **123**

Tabelle 16 — Zulässige Strömungsgeschwindigkeit **124**

Tabelle 17 — Mindestwanddicke des Leitrohres $t_{S,\,min}$ **126**

Tabelle 18 — Lastfälle für Verankerungsteile **129**

Tabelle 19 — Sicherheitsbeiwert kr **135**

Tabelle 20 — Toleranzen für die Nenndicke tn des Materials **136**

Tabelle 21 — Toleranzen für die Gesamtlänge **137**

Tabelle 22 — Liste der Dokumente **139**

Tabelle 23 — ZfP für stumpfgeschweißte Längsnähte W1 von Bälgen ohne Umfangsnähte **142**

Tabelle 24 — Grenzen des Schweißnahtfaktors für stumpfgeschweißte Längsnähte W2 ..... **143**

Tabelle 25 — Umfang der ZfP für stumpfgeschweißte Längsnähte W2 in Rohrabschnitten und in Bälgen mit Umfangsnähten **144**

Tabelle 26 — Umfang der ZfP für Umfangsnähte — W3 ..... **144**

Tabelle 27 — Umfang der ZfP für Anschlussnähte am Balg — W4 ..... **145**

Tabelle 28 — Umfang der ZfP für Kehlnähte — W5 und W6 ..... **146**

Tabelle 29a — Bewertungsgruppe für Bälge nach EN ISO 5817:2014 in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen und Prüfverfahren **147**

Tabelle 29b — Bewertungsgruppe andere Teile außer Bälge nach EN ISO 5817:2014 in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen und Prüfverfahren **148**

Tabelle 30 — Annahmekriterien und Verfahren der Dichtheitsprüfung **148**

Tabelle 31 — Zusätzliche Annahmekriterien für Oberflächenunregelmäßigkeiten **149**

Tabelle 32 — Zusätzliche Anforderungen an Annahmekriterien für innere Unregelmäßigkeiten, die bei einer RT-Prüfung festgestellt werden **151**

Tabelle 33 — Schlussdokumentation **155**

Tabelle A.1 — Einstufung von Kompensatoren **161**

Tabelle B.1 — Werkstoffbezeichnung und chemische Zusammensetzung **163**

Tabelle B.2 — Anforderungen an die Herstellung **164**

Tabelle B.3 — Temperaturabhängige Werkstoffeigenschaften **166**

Tabelle B.4 — Prüfanforderungen und Materialdokumentation **168**

Tabelle C.1 — Auswahlkriterien für Kompensatorbauarten **170**

Tabelle D.1 — Mittlerer Wärmeausdehnungskoeffizient α, in mm/mK **192**

Tabelle D.2 — Berechnung der Biegewinkel in Gelenksystemen 195

Tabelle E.1 — Umrechnung der elastischen Federraten 213

Tabelle F.1 — Geprüfte (Index t) und zulässige (Index d) Konstruktionsmaße 214

Tabelle G.1 — Polynomische Koeffizienten α_i für die Ermittlung von C_p mit $C_1 \leq 0{,}3$ 223

Tabelle G.2 — Polynomische Koeffizienten α_i für die Ermittlung von C_p mit $C_1 > 0{,}3$ 224

Tabelle G.3 — Polynomische Koeffizienten β_i für die Ermittlung von C_f 225

Tabelle G.4 — Polynomische Koeffizienten γ_i für die Ermittlung von C_d 226

Tabelle H.1 — Erforderliche Auslegungsdaten 228

Tabelle I.1 — Auflistung für Risikoanalyse 229

Tabelle J.1 — Werkstoffnummern und Bezeichnungen 231

Tabelle J.2 — Temperaturabhängige Werkstoffeigenschaften 232

Tabelle J.3 — Zeitstandfestigkeit (100 000 h) 233

Tabelle J.4 — Dehngrenze bei Tieftemperaturen Angenäherter temperaturabhängiger Erhöhungsfaktor K_{LT}[a] 234

Tabelle K.1 — Zusätzliche Symbole 235

Tabelle L.1 — Unverstärkte und verstärkte Bälge 283

Tabelle L.2 — Torusförmige Bälge 299

Tabelle ZA.1 — Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und Anhang I der Richtlinie 2014/68/EU 302