

DIN EN 14917

ICS 23.040.99

Ersatz für
DIN EN 14917:2012-06**Kompensatoren mit metallischen Bälgen für Druckanwendungen;
Deutsche Fassung EN 14917:2021**Metal bellows expansion joints for pressure applications;
German version EN 14917:2021Compensateurs de dilatation à soufflets métalliques pour appareils à pression;
Version allemande EN 14917:2021

Gesamtumfang 261 Seiten

DIN-Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 14917:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 342 „Metallschläuche, Schlauchleitungen, Bälge und Kompensatoren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von SNV (Schweiz) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 082-00-01 AA „Schlauchleitungen und Kompensatoren aus Metall; Spiegelausschuss zu CEN/TC 342“ im DIN-Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD).

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 14917:2012-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anpassung an Richtlinie 2014/68/EG;
- b) allgemeine Überarbeitung und Korrektur;
- c) vollständige Überarbeitung von Abschnitt 6;
- d) Ergänzung des Anhangs K;
- e) Überarbeitung von Prüfung, Inspektion und Dokumentation;
- f) Überarbeitung der Materialeigenschaften in Anhang B und J;
- g) Berichtigung des Koeffizienten C_p ;
- h) redaktionelle Überarbeitung der Norm.

Frühere Ausgaben

DIN EN 14917: 2009-07, 2012-06

DIN EN 14917 Berichtigung 1: 2011-07

Deutsche Fassung

Kompensatoren mit metallischen Bälgen für Druckanwendungen

Metal bellows expansion joints
for pressure applications

Compensateurs de dilatation à soufflets métalliques
pour appareils à pression

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 21. Juni 2021 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 CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

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

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	7
Einleitung	9
1 Anwendungsbereich	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe	14
4 Klassifizierung	17
4.1 Klassifizierung von Kompensatoren	17
4.1.1 Allgemeines	17
4.1.2 Axial-Kompensator	17
4.1.3 Angular-Kompensator	17
4.1.4 Lateral-Kompensator	17
4.1.5 Universal-Kompensator	17
4.1.6 Druckentlastete Ausführungen (Axial- oder Universal-Kompensatoren)	17
4.2 Klassifizierung der Bauteile von Kompensatoren	20
4.2.1 Drucktragende Hauptteile (A)	20
4.2.2 Andere drucktragende Teile (B), die nicht drucktragende Hauptteile sind	20
4.2.3 Anbauteile an drucktragenden Hauptteilen und an anderen drucktragenden Teilen (C)	20
4.2.4 Andere Teile (D)	20
5 Werkstoffe	22
5.1 Allgemeines	22
5.1.1 Werkstoffe für drucktragende Teile	22
5.1.2 Werkstoffe für Anbauteile an drucktragenden Teilen	22
5.1.3 Werkstoffe für nicht drucktragende Teile	22
5.2 Drucktragende Teile	22
5.2.1 Balg	22
5.2.2 Andere drucktragende Teile	23
5.2.3 Duktilität	23
5.2.4 Sprödbbruch	24
5.3 Werkstoffdokumentation	27
6 Auslegung	28
6.1 Allgemeines	28
6.1.1 Symbole	28
6.1.2 Grundlegende Auslegungskriterien	33
6.1.3 Zulässige Spannungen	34
6.1.4 Zusätzliche Lasten	37
6.2 Balgausführung	37
6.2.1 Zweck	37
6.2.2 Anwendungsbedingungen	38
6.2.3 Auslegung von unverstärktem Balg mit U-Profil	54
6.2.4 Ausführung von verstärktem Balg mit U-Profil	69
6.2.5 Ausführung von Torusbälgen	72
6.2.6 Ermüdung	79
6.2.7 Bälge unter Einfluss von Bewegungen	84
6.2.8 Äquivalente axiale Bewegung je Welle	89
6.2.9 Kräfte und Momente an druckbeaufschlagten Kompensatoren	94

6.2.10	Bälge mit Torsionsbeanspruchung (unverstärkt oder verstärkt)	103
6.3	Leitrohr	104
6.3.1	Anwendungsbereich.....	104
6.3.2	Zusätzliche Symbole.....	105
6.3.3	Strömungsgeschwindigkeit	105
6.3.4	Auslegungsbedingungen.....	107
6.4	Verankerungen.....	108
6.4.1	Allgemeines	108
6.4.2	Auslegungsparameter.....	108
6.4.3	Verankerungsteile	110
6.4.4	Dauerhafte Verbindungen.....	111
7	Herstellung	114
7.1	Allgemeines	114
7.2	Werkstoffe.....	114
7.2.1	Allgemeines	114
7.2.2	Rückverfolgbarkeit des Werkstoffes.....	114
7.3	Dauerhafte Verbindungen.....	114
7.3.1	Allgemeines	114
7.3.2	Verfahren und Bedienungspersonal	115
7.3.3	Reparatur und Nachbesserung bei der Herstellung	115
7.4	Balgformung.....	115
7.4.1	Umformverfahren	115
7.4.2	Wärmebehandlung	117
7.5	Toleranzen	117
7.5.1	Allgemeines	117
7.5.2	Balg.....	118
7.5.3	Kompensator.....	119
7.6	Fertigungsbegleitende Prüfungen.....	119
8	Prüfungen, Kontrollen und Dokumentation	119
8.1	Allgemeines	119
8.2	Abkürzungen.....	119
8.3	Dokumentation	120
8.4	Kontrollen und Prüfungen während der Fertigung.....	121
8.4.1	Allgemeines	121
8.4.2	Werkstoffe.....	121
8.4.3	Dauerhafte Verbindungen.....	121
8.4.4	Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißnähten	123
8.5	ZfP-Verfahren	129
8.5.1	Bewertungsgruppe	129
8.5.2	Zulässigkeitsgrenzen und Prüfverfahren.....	129
8.5.3	Qualifizierung und Zulassung des ZfP-Personals	130
8.5.4	Dokumentation der zerstörungsfreien Prüfung	130
8.6	Abnahme und Dokumentation	134
8.6.1	Allgemeines	134
8.6.2	Endprüfung.....	134
8.7	Dokumentation	136
8.7.1	Schlussdokumentation.....	136
8.7.2	Konformitätserklärung/Zertifizierung.....	137
8.7.3	Betriebsanleitung.....	137
9	Kennzeichnung und Beschriftung	137
10	Handhabung und Einbau	138
10.1	Allgemeine Hinweise.....	138
10.2	Verpackung und Lagerung.....	138
10.3	Einbau.....	138

10.4	Unverankerte Kompensatoren.....	139
10.5	Verankerte Kompensatoren.....	139
Anhang A (informativ) Kategorien von Kompensatoren.....		140
A.1	Allgemeines	140
A.2	Bestimmung der Kategorie von Kompensatoren	140
A.3	Fluidgruppen.....	140
A.3.1	Allgemeines	140
A.3.2	Gruppe 1.....	141
A.3.3	Gruppe 2.....	141
A.4	Technische Anforderungen.....	141
A.4.1	Kompensatoren für Behälter	141
A.4.2	Kompensatoren für Rohrleitungen.....	142
A.4.3	Gute Ingenieurpraxis (GIP).....	142
A.5	Kompensatorkategorie	142
Anhang B (informativ) Spezifikation für die Werkstoffe 1.4828, 1.4876, 2.4360 und 2.4858		144
Anhang C (informativ) Einbau von Kompensatoren in Rohrleitungen oder Druckbehälter.....		150
C.1	Allgemeines	150
C.2	Besondere Symbole und Begriffe.....	151
C.3	Anwendungskriterien für Kompensatoren in Rohrleitungen	152
C.3.1	Allgemeines	152
C.3.2	Verwendung von Axial-Kompensatoren	152
C.3.3	Verwendung von verankerten Kompensatoren.....	159
C.3.4	Verwendung von Universal-Kompensatoren.....	165
C.3.5	Unbestimmte Anordnungen von Kompensatoren.....	167
C.4	Anwendungskriterien für Kompensatoren in Druckbehältern	170
C.4.1	Allgemeines	170
C.4.2	In den Mantel eingebaute Axial-Kompensatoren	170
C.4.3	Axial-Kompensator am Schwimmkopf	170
Anhang D (informativ) Berechnungsverfahren für Rohrleitungssysteme mit Kompensatoren.....		172
D.1	Allgemeines	172
D.1.1	Einführende Bemerkungen.....	172
D.1.2	Bestimmen von Bewegungswerten.....	172
D.1.3	Wärmedehnung.....	172
D.2	Näherungsweise Berechnung von Balgbewegungen.....	174
D.2.1	Allgemeines	174
D.2.2	Gelenksysteme.....	174
D.2.3	Definitionen.....	174
D.3	Genaue Berechnung von Balgbewegungen	179
D.3.1	Zwei Einfachgelenke in einem ebenen System (Z-System)	179
D.3.2	Zwei Kardangelenke in einem räumlichen System (räumliches Z-System)	180
D.3.3	Drei Gelenke in einem U-förmigen ebenen System (U-System)	181
D.3.4	Drei Gelenke in einem ebenen System (L-System).....	182
D.3.5	Drei Gelenke in einem räumlichen System (räumliches Z-System).....	185
D.4	Berechnung von Kräften und Momenten.....	187
Anhang E (informativ) Erläuterungen zur Auslegung von Kompensatorbälgen		188
E.1	Allgemeines	188
E.2	Auslegung durch Berechnung.....	188
E.3	Balgausführungen	189
E.3.1	Wellenform	189
E.3.2	Anzahl der Lagen	189
E.4	Erwartete Lebensdauer.....	190
E.5	Instabilität.....	190
E.5.1	Allgemeines	190

E.5.2	Säuleninstabilität	190
E.5.3	Welleninstabilität.....	191
E.5.4	Ausknicken	191
E.6	Federrate des Balges	191
Anhang F (informativ) Vorgehensweise bei der Erstellung einer Ermüdungskurve		194
F.1	Allgemeines	194
F.2	Verfahren für die Erstellung einer Ermüdungskurve für Kompensatorbälge.....	194
F.2.1	Allgemeines	194
F.2.2	Anzahl an Prüfungen	194
F.2.3	Extrapolationsbereich	194
F.2.4	Herstellungsverfahren	195
F.2.5	Balgwerkstoff.....	195
F.3	Prüfungen.....	195
F.3.1	Bewegung	195
F.3.2	Prüfdruck	195
F.3.3	Weitere Prüfbedingungen	196
F.3.4	Prüfeinrichtung für die Lastspielprüfung	196
F.4	Auswertung der Prüfergebnisse	197
F.5	Lineare Regression	201
Anhang G (informativ) Polynomische Näherungen für die Koeffizienten C_p , C_f , C_d		203
G.1	Koeffizient C_p	203
G.2	Koeffizient C_f	204
G.3	Koeffizient C_d	205
G.4	Lineare Interpolation.....	206
Anhang H (informativ) Erforderliche Auslegungsdaten und Angaben.....		208
H.1	Erforderliche Auslegungsbedingungen.....	208
H.2	Zusätzliche Angaben.....	208
Anhang I (informativ) Risikoanalysen für Kompensatoren		209
Anhang J (informativ) Zusätzliche Werkstoffeigenschaften		210
Anhang K (normativ) Berechnung der Verankerungen.....		214
K.1	Allgemeines	214
K.2	Zusätzliche Symbole.....	214
K.3	Kraft aus Druck	217
K.4	Zugstange	218
K.4.1	Allgemeines	218
K.4.2	Zugstange unter Zugbeanspruchung.....	218
K.4.3	Zugstange unter Druckbeanspruchung.....	219
K.5	Bolzen	219
K.6	Zuglasche mit Bohrung.....	221
K.6.1	Allgemeines	221
K.6.2	Kräfte aus Druck.....	221
K.6.3	Spannungen aus Reaktionskraft.....	223
K.7	Kardankasten und -ring.....	224
K.7.1	Allgemeines	224
K.7.2	Spannungen in gebohrtem Querschnitt.....	224
K.7.3	Kardankasten.....	225
K.7.4	Kardanring.....	227
K.8	Ankerplatte.....	229
K.8.1	Ankerplatte (offen/geschlossen) mit zwei Verankerungen	229
K.8.2	Kreisförmige Ankerplatte mit 3 oder mehr Zugstangen, gültig bis DN 800	236
K.9	Zuglaschenplattenverbindung (Einfachgelenk/Kardankasten/-ring).....	239
K.9.1	Allgemeines	239

K.9.2	Zuglaschenplatte für formschlüssige Verbindung	240
K.9.3	Zuglaschenplatte für geschweißte Knopflochverbindung	243
K.10	Zugstangen- und Zuglaschenverankerung auf Flanschen	244
K.10.1	Einteiliger Flansch.....	244
K.10.2	An den Flansch geschweißte Platte.....	248
K.11	Steg/Stützblech	251
K.12	Steg/Stützblech mit Verstärkungsringen	251
K.12.1	Allgemeines	251
K.12.2	Grundlegende Definitionen	253
K.12.3	Spannungen in den Stegen/Stützblechen	253
K.12.4	Spannungen in Ring und Rohr	254
K.12.5	Spannungen in Schweißnähten a_7 , a_8 und a_9	255
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2014/68/EU		256
Literaturhinweise.....		258

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 14917:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 342 „Metallschläuche, Schlauchleitungen, Bälge und Kompensatoren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von SNV gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Januar 2022, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Januar 2022 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN 14917:2009+A1:2012.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Normungsauftrages erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien/Verordnungen.

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

Gegenüber EN 14917:2009+A1:2012 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Anpassung an die Richtlinie 2014/68/EG;
- allgemeine Überarbeitung und Korrektur;
- vollständige Überarbeitung und Neustrukturierung von Abschnitt 6, z. B.:
 - Ergänzung der Auslegung innerhalb des Zeitstandbereichs;
 - Änderung der Spannungsberechnung für Innendruckfestigkeit;
 - Neuformulierung der Säulen Welleninstabilität;
 - Änderung der Berechnung der Welleninstabilität;
 - Harmonisierung der Lastpielberechnung für alle Bälge und Einführung von 4 Lastspielkurven für unterschiedliche Werkstoffgruppen;
 - Erweiterung der Werkstoffkennwerte zur Berechnung der Kräfte und Momente bei druckbeaufschlagten Kompensatoren;
- Ergänzung des Anhang K zur Spannungsberechnung der Verankerungen;
- Überarbeitung der Prüfungen und Dokumentation;
- Überarbeitung der Werkstoffeigenschaften in Anhang B und Anhang J;
- Korrektur des Koeffizienten C_p .

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

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

Einleitung

Kompensatoren mit metallischen Bälgen werden als Bauteile in Druckbehältern oder Rohrleitungen verwendet.

Wird ein Kompensator im Sinne der EU-Richtlinie 2014/68/EU ausgelegt und hergestellt, muss eine Risikobeurteilung durchgeführt werden. Die möglichen Risiken eines Kompensators und wie sie in diesem Dokument behandelt wurden, sind in Anhang I beschrieben.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Anforderungen an die Konstruktion, Herstellung und den Einbau von Kompensatoren mit metallischen Bälgen mit kreisförmigem Querschnitt für Druckanwendungen mit einem maximal zulässigen Druck über 0,5 bar.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 764-4:2014, *Druckgeräte — Teil 4: Erstellung von technischen Lieferbedingungen für metallische Werkstoffe*

EN 764-5:2014, *Druckgeräte — Teil 5: Prüfbescheinigungen für metallische Werkstoffe und Übereinstimmung mit der Werkstoffspezifikation*

EN 1092-1:2018, *Flansche und ihre Verbindungen — Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet — Teil 1: Stahlflansche*

EN 1591-1:2013, *Flansche und ihre Verbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung — Teil 1: Berechnung*

EN 1759-1:2004, *Flansche und ihre Verbindungen — Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach Class bezeichnet — Teil 1: Stahlflansche, NPS 1/2 bis 24*

EN 10028-1:2017, *Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

EN 10028-2:2017, *Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen — Teil 2: Unlegierte und legierte Stähle mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen*

EN 10028-3:2017, *Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen — Teil 3: Schweißgeeignete Feinkornbaustähle, normalgeglüht*

EN 10028-4:2017, *Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen — Teil 4: Nickellegierte kaltzähe Stähle*

EN 10028-7:2016, *Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen — Teil 7: Nichtrostende Stähle*

EN 10204:2004, *Metallische Erzeugnisse — Arten von Prüfbescheinigungen*

EN 10216-1:2013, *Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 1: Rohre aus unlegierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei Raumtemperatur*

EN 10216-2:2013+A1:2019, *Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 2: Rohre aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen*

EN 10216-3:2013, *Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 3: Rohre aus legierten Feinkornbaustählen*

EN 10216-4:2013, *Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 4: Rohre aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen*

EN 10216-5:2013, *Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 5: Rohre aus nichtrostenden Stählen*

EN 10217-1:2019, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 1: Elektrisch geschweißte und unterpulvergeschweißte Rohre aus unlegierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei Raumtemperatur*

EN 10217-2:2019, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 2: Elektrisch geschweißte Rohre aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen*

EN 10217-3:2019, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 3: Elektrisch geschweißte und unterpulvergeschweißte Rohre aus legierten Feinkornbaustählen mit festgelegten Eigenschaften bei Raum-, erhöhten und tiefen Temperaturen*

EN 10217-4:2019, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 4: Elektrisch geschweißte Rohre aus unlegierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen*

EN 10217-5:2019, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 5: Unterpulvergeschweißte Rohre aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen*

EN 10217-6:2019, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 6: Unterpulvergeschweißte Rohre aus unlegierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen*

EN 10217-7:2014, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 7: Rohre aus nichtrostenden Stählen*

EN 10222-2:2017, *Schmiedestücke aus Stahl für Druckbehälter — Teil 2: Ferritische und martensitische Stähle mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen*

EN 10222-3:2017, *Schmiedestücke aus Stahl für Druckbehälter — Teil 3: Nickelstähle mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen*

EN 10222-4:2017, *Schmiedestücke aus Stahl für Druckbehälter — Teil 4: Schweißgeeignete Feinkornbaustähle mit hoher Dehngrenze*

EN 10222-5:2017, *Schmiedestücke aus Stahl für Druckbehälter — Teil 5: Martensitische, austenitische und austenitisch-ferritische nichtrostende Stähle*

EN 10253-2:2007, *Formstücke zum Einschweißen — Teil 2: Unlegierte und legierte ferritische Stähle mit besonderen Prüfanforderungen*

EN 10253-3:2008, *Formstücke zum Einschweißen — Teil 3: Nichtrostende austenitische und austenitisch-ferritische (Duplex-) Stähle ohne besondere Prüfanforderungen*

EN 10253-4:2008, *Formstücke zum Einschweißen — Teil 4: Austenitische und austenitisch-ferritische (Duplex-) Stähle mit besonderen Prüfanforderungen*

EN 10269:2013, *Stähle und Nickellegierungen für Befestigungselemente für den Einsatz bei erhöhten und/oder tiefen Temperaturen*

EN 10272:2016, *Stäbe aus nichtrostendem Stahl für Druckbehälter*

EN 10273:2016, *Warmgewalzte schweißgeeignete Stäbe aus Stahl für Druckbehälter mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen*

EN 13184:2001, *Zerstörungsfreie Prüfung — Dichtheitsprüfung — Druckänderungsverfahren*

EN 13445-2:2014, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 2: Werkstoffe*

EN 13445-3:2014, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 3: Konstruktion*

EN 13480-2:2017, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 2: Werkstoffe*

EN 13480-2:2017/A1:2018, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 2: Werkstoffe*

EN 13480-2:2017/A2:2018, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 2: Werkstoffe*

EN 13480-2:2017/A3:2018, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 2: Werkstoffe*

EN 13480-3:2017, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 3: Konstruktion und Berechnung*

EN ISO 148-1:2016, *Metallische Werkstoffe — Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy — Teil 1: Prüfverfahren (ISO 148-1:2016)*

EN ISO 643:2020, *Stahl — Mikrophotographische Bestimmung der scheinbaren Korngröße (ISO 643:2019, korrigierte Fassung 2020-03)*

EN ISO 3651-2:1998, *Ermittlung der Beständigkeit nichtrostender Stähle gegen interkristalline Korrosion — Teil 2: Nichtrostende austenitische und ferritisch-austenitische (Duplex) Stähle — Korrosionsversuch in schwefelsäurehaltigen Medien (ISO 3651-2:1998)*

EN ISO 5817:2014, *Schweißen — Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2014)*

EN ISO 6506-1:2014, *Metallische Werkstoffe — Härteprüfung nach Brinell — Teil 1: Prüfverfahren (ISO 6506-1:2014)*

EN ISO 6892-1:2019, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur (ISO 6892-1:2019)*

EN ISO 6892-2:2018, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 2: Prüfverfahren bei erhöhter Temperatur (ISO 6892-2:2018)*

EN ISO 9445-1:2010, *Kontinuierlich kaltgewalzter nichtrostender Stahl — Grenzabmaße und Formtoleranzen — Teil 1: Kaltband und Kaltband in Stäben (ISO 9445-1:2009)*

EN ISO 9445-2:2010, *Kontinuierlich kaltgewalzter nichtrostender Stahl — Grenzabmaße und Formtoleranzen — Teil 2: Kaltbreitband und Blech (ISO 9445-2:2009)*

EN ISO 9606-1:2017, *Prüfung von Schweißern — Schmelzschweißen — Teil 1: Stähle (ISO 9606-1:2012, einschließlich Cor 1:2012 und Cor 2:2013)*

EN ISO 9606-4:1999, *Prüfung von Schweißern — Schmelzschweißen — Teil 4: Nickel und Nickellegierungen (ISO 9606-4:1999)*

EN ISO 9712:2012, *Zerstörungsfreie Prüfung — Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung (ISO 9712:2012)*

EN ISO 14732:2013, *Schweißpersonal — Prüfung von Bedienern und Einrichtern zum mechanischen und automatischen Schweißen von metallischen Werkstoffen (ISO 14732:2013)*

EN ISO 15609-1:2019, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 1: Lichtbogenschweißen (ISO 15609-1:2019)*

EN ISO 15609-2:2019, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 2: Gasschweißen (ISO 15609-2:2019)*

EN ISO 15609-3:2004, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 3: Elektronenstrahlschweißen (ISO 15609-3:2004)*

EN ISO 15609-4:2009, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 4: Laserstrahlschweißen (ISO 15609-4:2009)*

EN ISO 15609-5:2011, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 5: Widerstandsschweißen (ISO 15609-5:2011, korrigierte Fassung 2011-12-01)*

EN ISO 15609-6:2013, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 6: Laserstrahl-Lichtbogen-Hybridschweißen (ISO 15609-6:2013)*

EN ISO 15610:2003, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Qualifizierung aufgrund des Einsatzes von geprüften Schweißzusätzen (ISO 15610:2003)*

EN ISO 15613:2004, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Qualifizierung aufgrund einer vorgezogenen Arbeitsprüfung (ISO 15613:2004)*

EN ISO 15614-1:2017¹, *Anforderungen an und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfungen — Teil 1: Lichtbogen- und Gasschweißen von Stählen und Lichtbogenschweißen von Nickel und Nickellegierungen (ISO 15614-1:2017, korrigierte Fassung 2017-10-01)*

EN ISO 15614-2:2005, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 2: Lichtbogenschweißen von Aluminium und seinen Legierungen (ISO 15614-2:2005)*

EN ISO 15614-3:2008, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 3: Schmelzschweißen von unlegierten und niedriglegierten Gusseisen (ISO 15614-3:2008)*

EN ISO 15614-4:2005, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 4: Fertigungsschweißen von Aluminiumguss (ISO 15614-4:2005)*

EN ISO 15614-5:2004, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 5: Lichtbogenschweißen von Titan, Zirkonium und ihren Legierungen (ISO 15614-5:2004)*

EN ISO 15614-6:2006, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 6: Lichtbogen- und Gasschweißen von Kupfer und seinen Legierungen (ISO 15614-6:2006)*

EN ISO 15614-7:2019, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 7: Auftragschweißen (ISO 15614-7:2016)*

1 Beeinflusst durch EN ISO 15614-1:2017/A1:2019.

EN ISO 15614-8:2016, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 8: Einschweißen von Rohren in Rohrböden (ISO 15614-8:2016)*

EN ISO 15614-10:2005, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 10: Trockenschweißen unter Überdruck (ISO 15614-10:2005)*

EN ISO 15614-11:2002, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 11: Elektronen- und Laserstrahlschweißen (ISO 15614-11:2002)*

EN ISO 15614-12:2014, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 12: Widerstandspunkt-, Rollennaht- und Buckelschweißen (ISO 15614-12:2014)*

EN ISO 15614-13:2012, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 13: Pressstumpf- und Abbrennstumpfschweißen (ISO 15614-13:2012)*

EN ISO 15614-14:2013, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 14: Laserstrahl-Lichtbogen-Hybridschweißen von Stählen, Nickel und dessen Legierungen (ISO 15614-14:2013)*

EN ISO 17635:2016, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Allgemeine Regeln für metallische Werkstoffe (ISO 17635:2016)*

EN ISO 20485:2018, *Zerstörungsfreie Prüfung — Dichtheitsprüfung — Prüfgasverfahren (ISO 20485:2017)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1
Kompensator
metallische Ausrüstung, bestehend aus einem Balg oder mehreren Bälgen zur Aufnahme von Bewegungen beispielsweise aufgrund von thermischen oder mechanischen Einwirkungen in Rohrleitungen oder Druckbehältern

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe auch Abschnitt 4, Klassifizierung.

3.2
Balg
flexibles Element, bestehend aus einer oder mehreren Balgwelle(n) und den Endborden

3.3
Welle
Balgwelle
flexibles Element eines Balgs mit abgedichteter Wand aus einer oder mehreren Lage(n)

3.4
Lage
Element der Balgwand, gewöhnlich hergestellt aus Blechen oder Bändern

3.5
Endbord
zylindrisches, nicht gewelltes Teil an den Enden eines Balges

3.6

Bordring, verstärkend

zur Verstärkung an den Endborden angebrachte(r) Hülse oder Ring

3.7

Schweißring

Hilfsring

als Schweißhilfe an den Endborden angebrachter Ring

3.8

Verstärkungs- und Ausgleichsring

Verstärkungselement

in die Wellentäler eingepasster Ring zur Erhöhung der Innendruckfestigkeit des Balges und/oder zur Begrenzung der äquivalenten axialen Stauchung

3.9

Leitrohr

kreisförmiges Element, das im Innern des Kompensators angebracht ist, einen zufriedenstellenden Medienstrom ermöglicht und den Balg vor Erosion und strömungsbedingten Schwingungen schützt

Anmerkung 1 zum Begriff: Es ist so ausgelegt, dass es die Bewegung des Kompensators nicht begrenzt.

3.10

Verankerung

Verankerung von Kompensatoren, welche den maßgebenden Kräften und Momenten aus axialer Druckkraft und zusätzlichen Beanspruchungen widerstehen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe auch Abschnitt 4, Klassifizierung.

3.11

Transportsicherung

Einrichtung, welche den Kompensator während der Dauer von Transport, Handhabung und Einbau in einer bestimmten Stellung sichert

3.12

Klassifizierung

Einstufung von Kompensatoren nach der Art ihrer Bewegungsaufnahme oder Einstufung von deren Bauteilen nach ihrer Drucktragfähigkeit

3.13

maximal zulässiger Druck

PS

vom Druckgerätehersteller angegebener höchster Druck, für den das Druckgerät ausgelegt ist

3.14

maximal/minimal zulässige Temperatur

TS

vom Druckgerätehersteller angegebene maximale und minimale Temperatur, für die das Druckgerät ausgelegt ist

3.15

Nennndruck

PN

Kenngroße, die üblicherweise als Bezugsgröße für Rohrleitungskomponenten und für lagerhaltige Bauteile verwendet wird und die in diesem Dokument dem maximal zulässigen Druck bei 20 °C entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Gewöhnlich als dimensionslose alphanumerische Zahl festgelegt; siehe EN 1333:2006.

3.16

axiale Druckkraft

F_p

Axialkraft die durch die Einwirkung von Druck auf den Kompensator entsteht

3.17

neutrale Stellung

Länge eines Balges im „spannungsfreien“ Zustand

3.18

Federrate

Reaktionskraft oder -moment bedingt durch eine Gerätebewegung

3.19

Lastspiel

vollständige Bewegung von einem Anfangspunkt zu den gegebenen Betriebsstellungen und zurück in die Anfangsstellung

3.20

Knicken

Säulen- oder Welleninstabilität eines Balges unter Einwirkung von Innendruck und/oder Axialkraft

3.21

Kategorie

Einstufung eines Druckgerätes in Abhängigkeit des steigenden Gefährdungspotentials

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Anhang A.

3.22

Gerätehersteller

natürliche oder juristische Person, die für die Werte der Kenngrößen PS und TS verantwortlich ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Das kann der Hersteller oder Konstrukteur der Rohrleitung oder des Druckbehälters sein, für die/den der Kompensator vorgesehen ist, oder der Hersteller des Kompensators selbst, falls diesem die Festlegung dieser Werte freisteht.

3.23

Hersteller des Kompensators

natürliche oder juristische Person, die für die Auslegung und Herstellung des Kompensators verantwortlich ist

3.24

Kriechen

zeitabhängige Verformung bei erhöhter Temperatur unter Last

3.25

Zeitstandbereich

Betriebsbereich, bei dem Kriechen aufgrund der Auslegungstemperatur und der festgelegten Lebensdauer des Geräts erwartet wird

4 Klassifizierung

4.1 Klassifizierung von Kompensatoren

4.1.1 Allgemeines

Es gibt vier Bauarten von Kompensatoren, die je nach der Art der Bewegungen, die aufgenommen werden können, konstruiert sind. Druckentlastete oder mit Verankerungen ausgestattete Kompensatoren können zusätzlich die axiale Druckkraft aufnehmen. Geläufige Beispiele sind in Tabelle 1 aufgeführt.

4.1.2 Axial-Kompensator

Unverankerter Kompensator, der hauptsächlich axiale Bewegung aufnimmt. Er nimmt gewöhnlich keine axialen Druckkräfte auf, nur wenn die Bauart druckentlastet ist (siehe 4.1.6).

4.1.3 Angular-Kompensator

Verankerter Kompensator, der angulare Bewegungen sowie die axiale Druckkraft aufnimmt. Er lässt Bewegungen in nur einer Ebene zu, wenn er mit Einfachgelenken ausgerüstet ist, und Bewegungen in allen Ebenen, wenn er mit Kardanringen ausgerüstet ist.

4.1.4 Lateral-Kompensator

Verankerter Kompensator, der laterale Bewegungen sowie die axiale Druckkraft aufnimmt. Er lässt laterale Bewegungen in nur einer Ebene zu, wenn er mit Einfachgelenken ausgerüstet ist, und Bewegungen in allen Ebenen, wenn er mit einfachen oder kardanischen Doppelgelenken ausgerüstet ist. Bewegung in allen Ebenen ist ebenfalls zulässig, wenn gelenkig gelagerte Zugstangen verwendet werden; diese Ausführung ermöglicht auch angulare Bewegung senkrecht zur Ebene der gelenkig gelagerten Zugstangen.

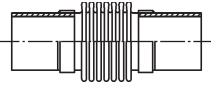
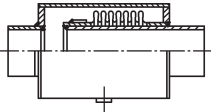
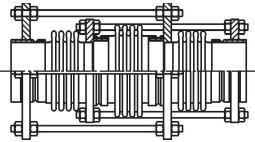
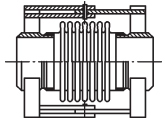
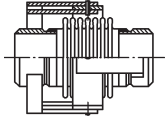
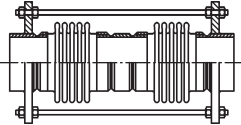
4.1.5 Universal-Kompensator

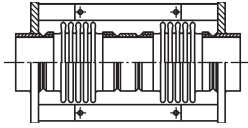
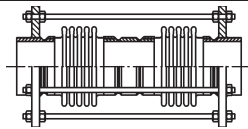
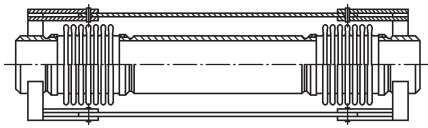
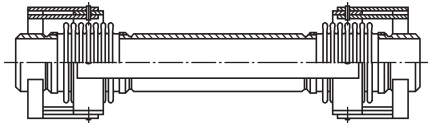
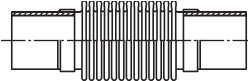
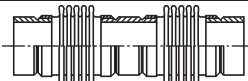
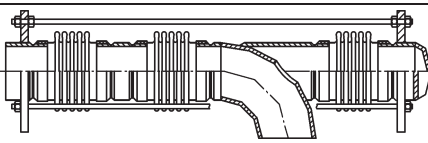
Unverankerter Kompensator, der alle Arten von Bewegungen aufnimmt. Er nimmt gewöhnlich keine axialen Druckkräfte auf, nur wenn die Bauart druckentlastet ist (siehe 4.1.6).

4.1.6 Druckentlastete Ausführungen (Axial- oder Universal-Kompensatoren)

Ein druckentlasteter Kompensator dient zur Bewegungsaufnahme und gleicht die axiale Druckkraft der Bälge aus. Dazu ist ein zusätzlicher Balg eingebaut, der mit dem Leitungsdruck beaufschlagt ist und eine gleich große Gegenkraft zu der axialen Druckkraft der Hauptbälge erzeugt. Über Verankerungskonstruktionen wird die axiale Druckkraft der Baueinheit ausgeglichen.

Tabelle 1 — Bauarten von Kompensatoren

Bauart	Auslegung		Nimmt axiale Druckkraft auf	Bewegung				
				Axial- Kompensator	Angular-Kompensator		Lateral-Kompensator	
					Eine Ebene	Mehrere Ebenen	Eine Ebene	Mehrere Ebenen
Axial-Kompensator	Nicht druckentlastet, innendruckbeaufschlagt		Nein	X	(X)	(X)	(X)	(X)
	Nicht druckentlastet, außendruckbeaufschlagt		Nein	X	(X)	(X)	(X)	(X)
	Druckentlastet, gerade		Ja	X				
Angular-Kompensator	Einfachgelenk		Ja		X			
	Kardangeln		Ja		X	X		
Lateral-Kompensator	Zwei Zugstangen, gelenkig gelagert		Ja		X		X	X

Bauart	Auslegung		Nimmt axiale Druckkraft auf	Bewegung				
				Axial- Kompensator	Angular-Kompensator		Lateral-Kompensator	
					Eine Ebene	Mehrere Ebenen	Eine Ebene	Mehrere Ebenen
	Zwei Zuganker mit Gelenkbolzen (in einer Ebene)		Ja				X	
	Mindestens drei Zugstangen		Ja				X	X
	Einfaches Doppelgelenk		Ja		X		X	
	Kardanisches Doppelgelenk		Ja		X	X	X	X
Universal-Kompensator	Unverankert, ein oder zwei Bälge		Nein	X	X	X	X	X
								
	Druck-entlastet (eckentlastet)		Ja	X	X Mit nur zwei Zugstangen		X	X
ANMERKUNG 1 X — Anwendbar. ANMERKUNG 2 (X) — Eingeschränkt anwendbar.								

4.2 Klassifizierung der Bauteile von Kompensatoren

4.2.1 Drucktragende Hauptteile (A)

Teile und Baugruppen, die das unter Druck stehende Medium umschließen und die aufgrund ihrer Konstruktion und Beanspruchung für die Druckfestigkeit der Anlage wesentlich sind, d. h. deren Versagen zu einem plötzlichen Freisetzen von Druckenergie führen kann, siehe Bild 1.

4.2.2 Andere drucktragende Teile (B), die nicht drucktragende Hauptteile sind

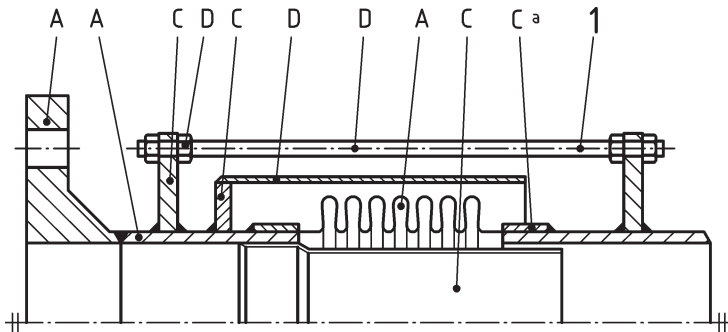
Teile, die indirekt mit Druck beaufschlagt werden und mit dem Medium nicht in unmittelbarem Kontakt stehen, und Teile, die sich mit dem Medium in Kontakt befinden, aufgrund ihrer Auslegung jedoch für die drucktragende Integrität der Anlage nicht von Bedeutung sind, siehe Bild 1.

4.2.3 Anbauteile an drucktragenden Hauptteilen und an anderen drucktragenden Teilen (C)

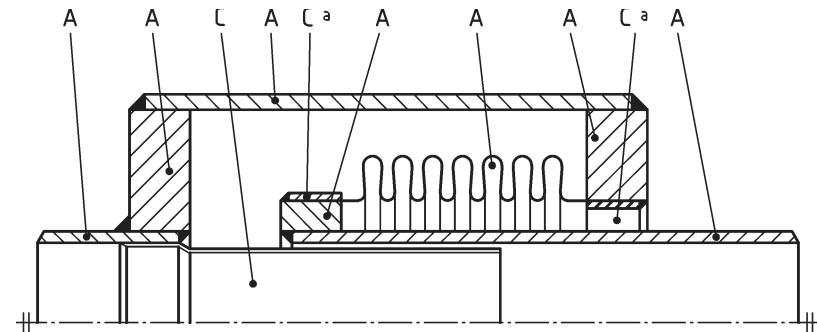
Teile, die direkt an A- oder B-Teile angeschweißt werden.

4.2.4 Andere Teile (D)

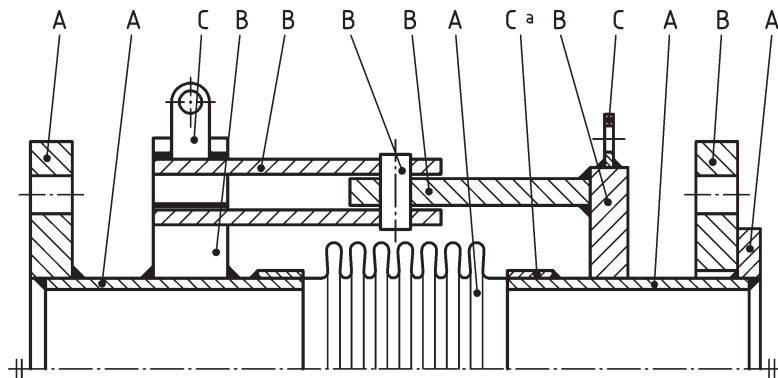
Alle Teile, die nicht den A-, B- oder C-Teilen zugeordnet sind.



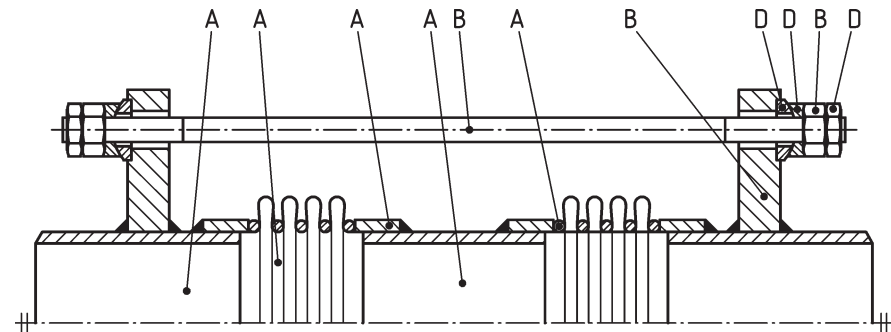
a) Axial-Kompensator, nicht druckentlastet, innendruckbeaufschlagt



b) Axial-Kompensator, nicht druckentlastet, außendruckbeaufschlagt



c) Angular-Kompensator



d) Lateral-Kompensator

Legende

1 Vorspannanker oder Transportsicherungen

^a Schweißbringe, die auch zur Verstärkung dienen, sind A-Teile (siehe Tabelle 7).

ANMERKUNG Diese Bilder sind nur schematische Darstellungen.

Bild 1 — Klassifizierung der Bauteile von Kompensatoren

5 Werkstoffe

5.1 Allgemeines

5.1.1 Werkstoffe für drucktragende Teile

Werkstoffe für drucktragende Teile nach 4.2.1 und 4.2.2 und wie in Bild 1 dargestellt, müssen frei von Oberflächenfehlern und inneren Fehlern sein, die deren Tauglichkeit beeinträchtigen. Diese Werkstoffe sind so zu wählen, dass sie mit den vorgesehenen Herstellungsverfahren vereinbar und für die vorgegebenen Bedingungen geeignet sind.

5.1.2 Werkstoffe für Anbauteile an drucktragenden Teilen

Bei Teilen nach 4.2.3 und wie in Bild 1 dargestellt, die an drucktragende Teile angebaut sind, dürfen die verwendeten Werkstoffe das Betriebsverhalten der drucktragenden Teile, an denen sie angebaut sind, nicht beeinträchtigen, besonders wenn sie durch Anschweißen angebracht werden.

5.1.3 Werkstoffe für nicht drucktragende Teile

Alle für die Herstellung von Kompensatoren verwendeten Werkstoffe müssen für derartige Anwendungen während der geplanten Lebensdauer geeignet sein, sofern kein Austausch vorgesehen ist.

5.2 Drucktragende Teile

5.2.1 Balg

5.2.1.1 Zulässige Werkstoffe

Es dürfen nur Werkstoffe verwendet werden, die die allgemeinen Anforderungen von 5.1 erfüllen und die für die speziellen Umform- und Schweißverfahren an Bälgen nach den Anforderungen von 7.3 und 7.4 geeignet sind.

Bevorzugte Werkstoffe sind in Tabelle 2 angegeben. Die Tabelle enthält auch die minimalen und maximalen Grenzwerte für die Betriebstemperatur der verschiedenen Werkstoffe.

Anhang J (informativ) enthält zusätzliche Eigenschaften für einige Hochtemperaturwerkstoffe, wie z. B. Zeitstandfestigkeitswerte, sowie physikalische Eigenschaften für den Einsatz bei niedrigen Temperaturen.

Andere, in Tabelle 2 nicht aufgeführte Werkstoffe dürfen verwendet werden, sofern sie die generellen Voraussetzungen nach 5.1 erfüllen und ebenfalls für die speziellen Umform- und Schweißverfahren nach 7.3 und 7.4 geeignet sind und sofern sie mit einer harmonisierten Norm oder einer europäischen Werkstoffzulassung (EAM, en: European Approval for Material) übereinstimmen oder für sie ein Werkstoff-Einzelgutachten (PMA, en: Particular Material Appraisal) nach der Festlegung in EN 764-4:2014 ausgestellt wurde.

5.2.1.2 Korrosion

Der für das Balgelement gewählte Werkstoff muss eine ausreichende Beständigkeit gegen alle während der Lebensdauer des Systems möglicherweise zu erwartenden korrosiven Medien aufweisen.

Besonders zu beachten sind Lochkorrosion (Lochfraß), interkristalline Korrosion, Spaltkorrosion und Spannungsrisskorrosion.

Bälge haben im Allgemeinen eine wesentlich geringere Wanddicke als die übrigen Teile des Systems, in dem sie verwendet werden. Daher müssen die Bälge aus einem Werkstoff mit einer gleichen oder höheren Korrosionsbeständigkeit, als der für die zugehörige Anlage verwendete, hergestellt werden.

5.2.2 Andere drucktragende Teile

Zulässige Werkstoffe für andere drucktragende Teile müssen je nach Anwendungsfall aus Tabelle 2 oder aus den in Tabelle 3 angegebenen Normen gewählt werden. Werkstoffe und Temperaturgrenzen von nach 6.1 ausgelegten Flanschen sind in der jeweils zutreffenden Flanschnorm festgelegt.

Die niedrigste zulässige Betriebstemperatur ist abhängig vom Grad der Belastung G_{σ} , definiert durch den maximalen Quotienten der Beanspruchungsgrade, die sich aus der Berechnung der Druckfestigkeit und der zulässigen Spannungen bezogen auf die jeweiligen Spannungskomponenten ergeben:

$$G_{\sigma} = \max[P_{\theta}/f; P_m/f; (P_m+P_b)/(1,5 \cdot f)] \quad (1)$$

Die Verwendung bei tiefen Temperaturen bei Belastungsgraden geringer als 1,0 nach Tabelle 3 ist zulässig, sofern die folgenden zusätzlichen Anforderungen erfüllt werden, um eine entsprechende Sicherheit gegen Sprödbruch zu erzielen:

- a) Der Hersteller der Kompensatoren muss sicherstellen, dass:
 - die Beanspruchung erhöhende Elemente im Hinblick auf Auslegung und Herstellung vermieden werden;
 - unter Betriebsbedingungen keine Rissbildung zu erwarten ist.
- b) Der Kompensatorenhersteller muss nach dem Umformen oder Schweißen an Teilen aus ferritischen Werkstoffen zusätzlich eine geeignete Wärmebehandlung durchführen.
- c) Spannungsarmglühen nach dem Schweißen ist verzichtbar bei ferritischen Werkstoffen der Werkstoffgruppen 1.1 oder 1.2 nach CEN ISO/TR 15608:2013 [31] mit einer Wanddicke von höchstens 10 mm.

Andere Werkstoffe dürfen verwendet werden, sofern sie die generellen Voraussetzungen nach 5.1 erfüllen und einer harmonisierten Norm oder einer europäischen Werkstoffzulassung (EAM) entsprechen oder für sie ein Werkstoff-Einzelgutachten (PMA) nach EN 764-4:2014 ausgestellt wurde.

Für andere drucktragende Teile als Bälge ist unter Berücksichtigung der vorgesehenen und voraussichtlich zu erwartenden Verwendung ein angemessener Zuschlag, Schutz gegen Korrosion oder andere chemische Angriffe einzubauen oder es sind Werkstoffe zu verwenden, die die gleiche oder eine höhere Korrosionsbeständigkeit aufweisen als die in der zugehörigen Anlage verwendeten.

5.2.3 Duktilität

Alle Werkstoffe müssen im Lieferzustand ausreichend duktil sein.

Werkstoffe, die für drucktragende Hauptteile (4.2.1) und andere drucktragende Teile (4.2.2) verwendet werden, müssen mindestens die folgenden Eigenschaften aufweisen:

- eine Bruchdehnung $A = 14 \%$; und
- eine Kerbschlagarbeit $KV = 27 \text{ J}$, gemessen an einer ISO-V-Kerbprobe nach EN ISO 148-1:2016 bei einer Temperatur von höchstens $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, jedoch nicht höher als die tiefste vorgesehene Auslegungstemperatur, oder bei $-196 \text{ }^{\circ}\text{C}$, falls die Auslegungstemperatur geringer ist.

Balgwerkstoffe müssen nach dem Umformen zusätzlich den Anforderungen von 7.4 entsprechen.

5.2.4 Sprödbruch

Besonders bei Kompensatoren, die Temperaturen unter -10 °C ausgesetzt sind, ist auf die Vermeidung von Sprödbruch zu achten.

- a) Die Bälge müssen aus den nach 5.2.1.1 zulässigen Werkstoffen gefertigt werden. Werden die Bälge aus Werkstoffen nach Tabelle 2 gefertigt, dürfen sie nicht bei Temperaturen verwendet werden, die unter den in der Tabelle in der Spalte „Minimum“ angegebenen Werten liegen, mit Ausnahme der Nickellegierungen 2.4816 und 2.4856.

Um diese Nickellegierungen bei tiefen Temperaturen verwenden zu können, müssen Werte für die Kerbschlagarbeit festgelegt und Nachweisverfahren zwischen dem Werkstoffhersteller und dem Käufer bei der Bestellung vereinbart werden.

- b) Andere drucktragende Teile müssen aus den nach 5.2.2 zulässigen Werkstoffen gefertigt werden, und sie dürfen nicht bei Temperaturen verwendet werden, die unter den in Tabelle 2 und Tabelle 3 angegebenen Werten liegen, mit Ausnahme der Nickellegierungen 2.4816 und 2.4856, siehe a).

Bei Teilen aus ferritischen Stählen (Gruppe 1) mit Dicken von mehr als 5 mm oder aus austenitischen nichtrostenden Stählen (Gruppe 8) mit Dicken von mehr als 20 mm sowie aus Nickellegierungen ist ein Charpy-Kerbschlagbiegeversuch (siehe 5.2.3) durchzuführen, wenn die Kerbschlagarbeit in der jeweiligen Werkstoffnorm nicht bereits festgelegt ist.

Die gemessene Kerbschlagarbeit muss:

- $KV \geq 27\text{ J}$ bei ferritischen Stählen (Gruppe 1);
- $KV \geq 40\text{ J}$ bei austenitischen nichtrostenden Stählen (Gruppe 8) und Nickellegierungen betragen oder dem in der zutreffenden Norm vorgegebenen Wert entsprechen, je nachdem welcher Wert größer ist.

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

Werkstoff			Temperatur °C		Dokument
Bauart	Werkstoffnummer	Kurzname	Minimum	Maximum	
Nicht-rostende austenitische Stähle	1.4301	X5CrNi18-10	-196^a	550	EN 10028-7:2016
	1.4306	X2CrNi19-11	-273^a	550	
	1.4401	X5CrNiMo17-12-2	-196^a	550	
	1.4404	X2CrNiMo17-12-2	-273^a	550	
	1.4435	X2CrNiMo18-14-3	-273^a	550	
	1.4539	X1CrNiMoCuN25-20-5	-196^a	550	
	1.4541	X6CrNiTi18-10	-273^a	550	
	1.4550	X6CrNiNb18-10	-196^a	550	
	1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	-273^a	550	

Werkstoff			Temperatur °C		Dokument
Bauart	Werkstoffnummer	Kurzname	Minimum	Maximum	
Wärmebeständige austenitische Stähle	1.4828	X15CrNiSi20-12	-196	900 ^b	Anhang B, Position (1), Anhang J
	1.4876	X10NiCrAlTi32-21	-196	600	Anhang B, Position (2.1), Anhang J
X10NiCrAlTi32-21 (H)		900 ^b		Anhang B, Position (2.2), Anhang J	
Nickellegierungen	2.4360	NiCu30Fe	-196	425	Anhang B, Position (3)
	2.4610	NiMo16Cr16Ti	-196	400	Anhang J
	2.4816	NiCr15Fe NiCr15Fe (H) ^c	-10	450	Anhang J
	2.4819	NiMo16Cr15W	-196	400	Anhang J
	2.4856	NiCr22Mo9Nb	-196	450	Anhang J
	2.4858	NiCr21Mo	-273	540	Anhang B, Position (4)
Ferritische Stähle	1.0345	P235GH	-20	400	EN 10028-2:2017 (wärmebeständige Stähle)
	1.0425	P265GH	-20	400	
	1.5415	16Mo3	-20 ^d	500	
	1.7335	13CrMo4-5	-20 ^d	500	
	1.0565	P355NH	-20	400	EN 10028-3:2017 (feinkörnige Stähle)
	1.8935	P460NH	-20	400	
^a Mindesttemperatur nach EN 13445-2:2014, Anhang B, und EN 13480-2:2017, EN 13480-2:2017/A1:2018, EN 13480-2:2017/A2:2018, EN 13480-2:2017/A3:2018, Anhang B.					
^b Bei Verwendung der Werkstoffe bei erhöhten Temperaturen über 550 °C sollte besonders auf die Gefahr von Sprödbruch geachtet werden.					
^c Wärmebeständige Sorte (informativ).					
^d Die Mindesttemperatur ist möglich, wenn die festgelegte Mindest-Kerbschlagarbeit von 27 J erbracht werden kann.					

Tabelle 3 — Werkstoffnormen für andere drucktragende Teile

Lfd. Nr.	Beschreibung	Europäische Norm	Tiefste zulässige Betriebstemperatur in °C		
			Belastungsgrad G_{σ}		
			1,0	0,75 ^a	0,25 ^a
1	Unlegierte Stahlrohre mit festgelegten Eigenschaften bei Raumtemperatur: — nahtlose Rohre — geschweißte Rohre	EN 10216-1:2013 EN 10217-1:2019	$t_{\min}^b$	$t_{\min} - 50$	$t_{\min} - 80$
2	Unlegierte und legierte Stähle mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen: — Flacherzeugnisse — nahtlose Rohre — geschweißte Rohre (E-geschweißt) — geschweißte Rohre (SA-geschweißt) — Schmiedestücke aus Stahl — Stäbe — Verbindungselemente	EN 10028-2:2017 EN 10216-2:2013 + A1:2019 EN 10217-2:2019 EN 10217-5:2019 EN 10222-2:2017 EN 10272:2016, EN 10273:2016 EN 10269:2013	$t_{\min}^b$	$t_{\min} - 50$	$t_{\min} - 80$
3	Schweißgeeignete Feinkornbaustähle, normalgeglüht: — Flacherzeugnisse — nahtlose Rohre — geschweißte Rohre — Schmiedestücke aus Stahl	EN 10028-3:2017 (P...NH) EN 10216-3:2013 EN 10217-3:2019 EN 10222-4:2017	$t_{\min}^b$	$t_{\min} - 50$	$t_{\min} - 80$
4	Flach- und Langerzeugnisse aus schweißgeeigneten Feinkornbaustählen, normalgeglüht/normalisierend gewalzt mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen	EN 10028-3:2017 (P...NL1, NL2)	$t_{\min}^b$	$t_{\min} - 50$	$t_{\min} - 80$
5	Flacherzeugnisse für Druckanwendungen aus nickellegierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen	EN 10028-4:2017	$t_{\min}^b$	$t_{\min} - 50$	$t_{\min} - 80$

Lfd. Nr.	Beschreibung	Europäische Norm	Tiefste zulässige Betriebstemperatur in °C		
			Belastungsgrad G_{σ}		
			1,0	0,75 ^a	0,25 ^a
6	Rohre für Druckanwendungen aus unlegierten kaltzähen Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen: — nahtlose Rohre — geschweißte Rohre (E-geschweißt) — geschweißte Rohre (SA-geschweißt)	EN 10216-4:2013 EN 10217-4:2019 EN 10217-6:2019	$t_{\min}^b$	$t_{\min} - 50$	$t_{\min} - 80$
7	Schmiedestücke für Druckanwendungen, Nickelstähle mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen	EN 10222-3:2017	$t_{\min}^b$	$t_{\min} - 50$	$t_{\min} - 80$
8	Formstücke zum Einschweißen, mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen	EN 10253-2:2007	$t_{\min}^b$	$t_{\min} - 50$	$t_{\min} - 80$
9	Nichtrostende austenitische Stähle nach Tabelle 2 mit zulässiger Mindesttemperatur -196°C	EN 10028-7:2016 EN 10216-5:2013 EN 10217-7:2019 EN 10222-4:2017 EN 10253-3:2008 EN 10253-4:2008	-196	-255	-270
^a Zusätzliche Anforderungen für Belastungsgrade geringer als 1,0, siehe 5.2.2.					
^b Tiefste Temperatur des betreffenden Werkstoffes nach den angegebenen Normen.					

5.3 Werkstoffdokumentation

Für Kompensatoren verwendete Werkstoffe müssen mit der in EN 764-5:2014 festgelegten Dokumentation geliefert werden.

Ein vereinfachtes Diagramm der Verfahrensschritte für die Prüfbescheinigungen, Dokumentation und die Übereinstimmung mit der Werkstoffspezifikation ist in Bild 2 angegeben.

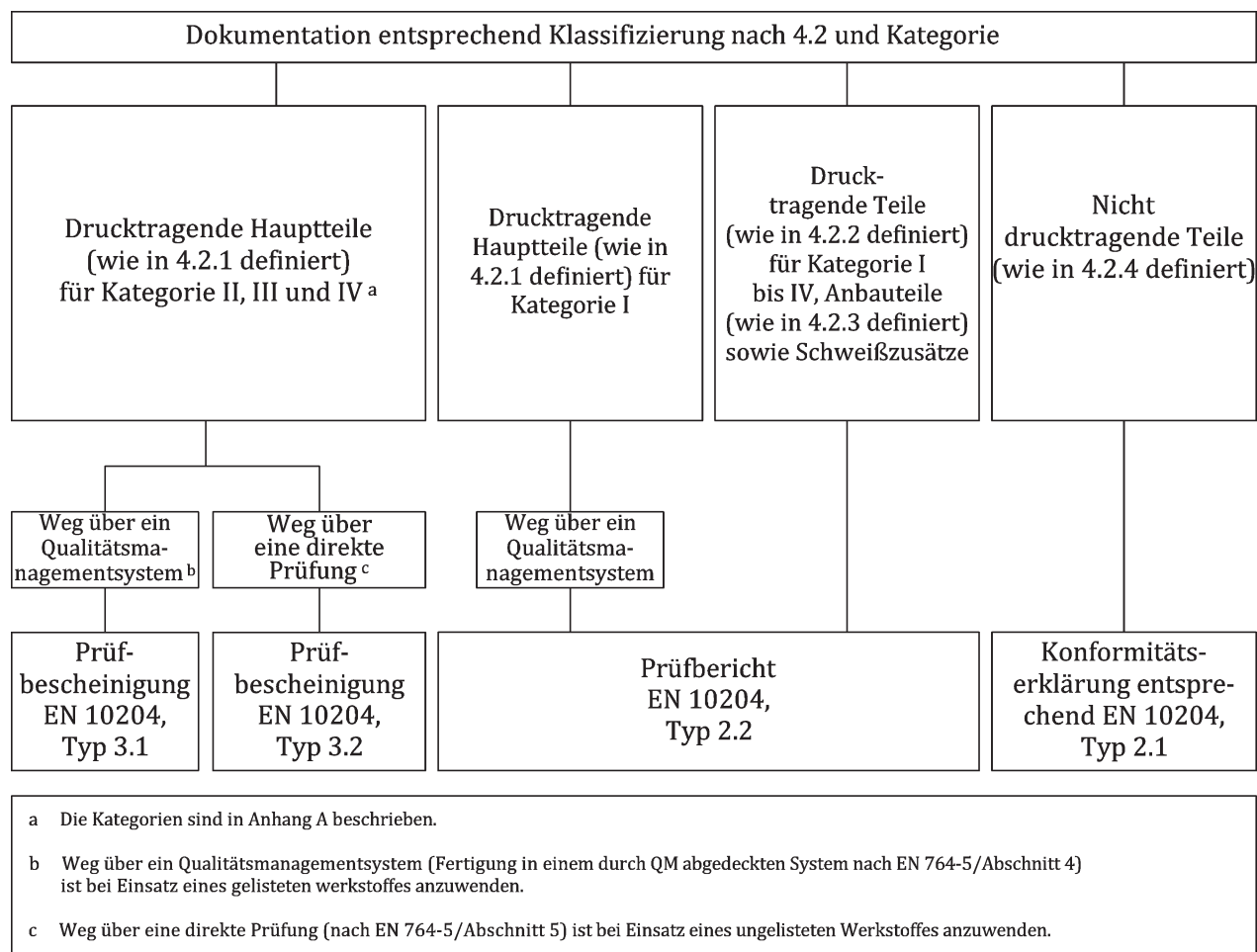


Bild 2 — Erforderliche Werkstoffdokumentation

6 Auslegung

6.1 Allgemeines

6.1.1 Symbole

Es gelten die folgenden in Tabelle 4 aufgeführten Symbole.

Tabelle 4 — Symbole

Symbol	Beschreibung	Einheit
A	Bruchdehnung nach EN ISO 6892-1	%
A_c	Materialquerschnitt einer Welle; siehe Gleichung (4)	mm ²
A_e	Wirksamer Querschnitt des Balges; siehe Gleichung (5)	mm ²
A_r	Querschnitt eines Verstärkungs- oder Ausgleichsrings des Balges; siehe Bild 14	mm ²
a	Faktor für die Berechnung der effektiven Federrate; siehe Tabelle 14	—
b	Faktor für die Berechnung der effektiven Federrate; siehe Tabelle 14	—
b_n	Nennbreite des Materials (Band, Blech, Platte); siehe Tabelle 20	

Symbol	Beschreibung	Einheit
C_1, C_2	Faktoren zur Bestimmung der Schalenkoeffizienten C_p, C_f, C_d ; siehe Gleichung (6) und Gleichung (7)	—
C_p, C_f, C_d	Schalenkoeffizienten für U-förmige Wellen; siehe Bild 5, Bild 6 und Bild 7	—
$c_{c(d)}$	Korrekturfaktor für $\sigma_{m,b}(\Delta q)$ für mehrlagige Bälge; siehe Gleichung (22)	—
$c_{n(P)}$	Korrekturfaktor für $\sigma_{m,b}(P)$ für mehrlagige Bälge; siehe Gleichung (21)	—
c_{dyn}	Dynamischer Faktor für Säuleninstabilität; siehe Gleichung (46)	—
$\hat{c}_p$	Vergrößerungsfaktor für gekrümmte Bälge unter Druck; siehe 6.2.8.4	—
C_r	Korrekturfaktor für verstärkte Bälge; siehe Gleichung (23)	—
c_w	Faktor der Spannungserhöhung aufgrund von Umfangsnähten; siehe Gleichung (133)	—
c_σ	Korrekturfaktor für die Spannung; siehe Gleichung (211)	—
D_c	Mittlerer Durchmesser des Bordringes am Endbord; siehe Gleichung (8)	mm
D_i	Innendurchmesser der Balgwellen; siehe z. B. Bild 8	mm
$D_{i,pp}$	Innendurchmesser des Rohrendes; siehe z. B. Bild 8	
$D_{i,t}$	Innendurchmesser der Balg-Endborde; siehe z. B. Bild 8	
D_m	Mittlerer Durchmesser der Balgwelle; siehe Gleichung (9)	mm
D_o	Außendurchmesser der Balgwelle (U-Form oder torusförmig); siehe z. B. Bild 8	mm
D_n	Neutraler Innendurchmesser der ursprünglichen Rohrleitung oder Kreisringplatte vor dem Umformen; siehe Gleichung (59) und Gleichung (60) sowie Bild 4	mm
d_p	Bolzendurchmesser; siehe Tabelle 18	mm
d_H	Durchmesser der Gelenklager (Bolzen, Kugelscheibe); siehe 6.2.9.3	mm
E_B	Elastizitätsmodul des Balgwerkstoffes, temperaturabhängig	N/mm ² (MPa)
E_c	Elastizitätsmodul des Bordringwerkstoffes, temperaturabhängig	N/mm ² (MPa)
E_r	Elastizitätsmodul des Verstärkungselementwerkstoffes, temperaturabhängig	N/mm ² (MPa)
e	Nennwanddicke des Balges; siehe Gleichung (10)	mm
e_c	Nennndicke des Bordringes am Endbord; siehe Bild 9, Bild 14 und Bild 16	mm
e_p	Nennwanddicke einer Balglage (Lagendicke)	mm
$e_{p,c}$	Nennwanddicke einer Balglage (Lagendicke) an der Innenkrempe	mm
$e_{p,r}$	Nennwanddicke einer Balglage (Lagendicke) an der Außenkrempe	mm
e^*	Wanddicke des Balges (Dickenabnahme durch Umformung); siehe Gleichung (20)	mm
e_p^*	Wanddicke einer Balglage (Dickenabnahme durch Umformung); siehe Gleichung (17), Gleichung (18) und Gleichung (19)	mm

Symbol	Beschreibung	Einheit
e_{pp}	Wanddicke des Rohrendes; siehe Bild 8	mm
F_p	Kraft durch Druckeinwirkung (axiale Druckkraft); siehe Gleichung (24)	N
F_w	Verstellkraft der Kompensatoren; siehe Gleichungen (215), (223), (232) und (241)	N
f	Zulässige allgemeine Membranspannung bei Auslegungstemperatur; siehe Tabelle 5	N/mm ² (MPa)
f_{20}	Zulässige allgemeine Membranspannung bei Raumtemperatur	N/mm ² (MPa)
f_T	Zulässige allgemeine Membranspannung bei Prüfbedingungen; siehe Tabelle 5	N/mm ² (MPa)
f_{cr}	Zulässige Auslegungsspannung im Zeitstandbereich; siehe Gleichung (2)	N/mm ² (MPa)
G	Gleitmodul; siehe Gleichung (255)	
G_σ	Belastungsgrad; siehe Gleichung (1)	—
H	Breite der Zuglasche am gebohrten Querschnitt; siehe Tabelle 18	mm
K_B	Axial-Federrate eines Balges; siehe Gleichungen (35), (36) und (37)	N/mm
K_f	Korrekturfaktor für zulässige meridionale Spannungen aufgrund von Kaltverfestigung; siehe Gleichungen (38), (39), (40) und (41)	—
K_{sr}	Korrekturfaktor für die normalisierte äquivalente axiale Bewegung aufgrund von Kaltverfestigung; siehe Gleichung (43) und Gleichung (44)	—
K_F	Reibungsfaktor zur Berechnung der durch Reibung in den Gelenken der Verankerungen wirkenden Kräfte oder Momente; siehe Gleichungen (222), (231), (240) und (248)	mm ² oder mm ³
$\tilde{K}$	Effektive Federrate eines Balges; siehe Gleichungen (212), (217), (226), (235) und (244)	N/mm oder Nmm/Radiant
K_P	Faktor zur Bestimmung zusätzlicher Kräfte oder Momente aus Druckeinfluss bei gekrümmten Bälgen; siehe Gleichungen (220), (221), (229), (230), (238), (239) und (247)	mm oder mm ² oder mm ³ /Radiant
K_β	Federrate für den Einfluss der Flankenkipfung auf Kräfte oder Momente; siehe Gleichungen (213), (218), (227), (236) und (245)	N/mm oder Nmm/Radiant
K_μ	Faktor für den Einfluss der Lagenreibung auf Kräfte oder Momente; siehe Gleichungen (214), (219), (228), (237) und (246)	mm ² oder mm ³
$K_{m,b}, K_{\theta,l}$	Faktoren für die Welleninstabilität; siehe Gleichung (110) und Gleichung (111)	—
$k_{p,t}$	Abminderungsfaktor für den Druck bei Temperatur t ; siehe Gleichung (3)	—
k_s	Stabilisierungsfaktor mit Einfluss auf die Säuleninstabilität; siehe Gleichung (93) und Gleichung (94)	—
k_l	Faktor für gelegentliche Lasten; siehe 6.4.2.2.2	—
k_t	Korrekturfaktor für den Balgbord; siehe Gleichung (31)	—
k_c	Korrekturfaktor für den Bordring; siehe Gleichung (32)	—

Symbol	Beschreibung	Einheit
L	Abstand zwischen Bolzenmittelpunkt und Ende des Zuglaschenkopfes; siehe Tabelle 18	mm
L_c	Länge des Bordringes; siehe Bild 8, Bild 14 und Bild 16	mm
L_t	Länge des zylindrischen Endbordes; siehe Bild 8, Bild 14 und Bild 16	mm
LT	Lebensdauer im Zeitstandbereich; siehe Tabelle 6	h
l_B	Ursprüngliche gewellte Länge eines Balges; siehe Bild 20	mm
$\bar{l}_B$	Angeglichen gewellte Länge eines Balges; siehe Gleichung (95)	mm
l^*	Balgmittenabstand bei einem Doppelbalg; siehe Bild 23	mm
M_t	Torsionsmoment; siehe Gleichung (256) und Gleichung (257)	Nmm
$M_{wy}, M_{w\theta}$	Verstellmoment des Balges aufgrund lateraler oder angularer Bewegungen; siehe Gleichungen (224), (233), (242) und (249)	Nmm
M_y, M_θ	Elastisches Moment aufgrund lateraler oder angularer Bewegungen; siehe Gleichungen (175), (178), (181) und (184)	Nmm
N	Anzahl der Wellen eines Balges	—
N_{alw}	Zulässige Lastspielzahl; siehe Gleichung (169) und Gleichung (170)	—
N_{spe}	Spezifizierte Lastspielzahl; siehe 6.2.6.1	—
n	Streckgrenzenexponent für die Berechnung der effektiven Federrate; siehe Tabelle 14	—
n_p	Anzahl der Lagen	—
n_B	Anzahl der Bälge in einem Kompensator ohne Zwischenrohr	—
p_a	Berechnungsdruck	N/mm ² (MPa)
p_m	Primäre Membranspannung	N/mm ² (MPa)
p_b	Primäre Biegespannung	N/mm ² (MPa)
p_θ	Primäre Umfangsmembranspannung	N/mm ² (MPa)
PS^a	Maximal zulässiger Druck; siehe 3.13	N/mm ² (MPa)
p_{sc}	Auslegungsgrenzwert für den Innendruck aufgrund von Säuleninstabilität; siehe Gleichungen (93), (94) und (96)	N/mm ² (MPa)
p_{si}	Auslegungsgrenzwert für den Druck aufgrund von Welleninstabilität; siehe Gleichung (100) und Gleichung (101)	N/mm ² (MPa)
PT	Prüfdruck; siehe 8.6.2.2	bar
$p_{t, \max}^a$	Maximal zulässiger Druck bei Temperatur t	bar
Q	Gleitspannung; siehe Tabelle 18	N/mm ² (MPa)
q	Länge der Balgwelle; siehe Bild 8, Bild 14 und Bild 16	mm
R_e^*	Temperaturabhängige örtliche Streckgrenze des Balgwerkstoffes im umgeformten oder im geglühten Zustand; siehe Gleichungen (27), (28) und (29)	N/mm ² (MPa)

Symbol	Beschreibung	Einheit
$R_{eH, t}$	Festgelegter Mindestwert der oberen Streckgrenze bei Auslegungstemperatur	N/mm ² (MPa)
$R_{m, t}$	Festgelegter Mindestwert der Zugfestigkeit bei Auslegungstemperatur	N/mm ² (MPa)
$R_{m, 20}$	Festgelegter Mindestwert der Zugfestigkeit bei Raumtemperatur	N/mm ² (MPa)
$R_{m/TL/ t}$	Mittlere Zeitstandfestigkeit bei Lebensdauer $TL(h)$ und Auslegungstemperatur	N/mm ² (MPa)
R_{p0}	Streckgrenze bei Raumtemperatur; siehe Tabelle 14	N/mm ² (MPa)
$R_{p0,2}$	0,2 %-Dehngrenze bei Raumtemperatur	N/mm ² (MPa)
$R_{p1,0}$	1 %-Dehngrenze bei Raumtemperatur	N/mm ² (MPa)
$R_{p0, t}$	Streckgrenze bei Auslegungstemperatur; siehe Tabelle 14	N/mm ² (MPa)
$R_{p0,2, t}$	Festgelegter Mindestwert der 0,2 %-Dehngrenze bei Auslegungstemperatur	N/mm ² (MPa)
$R_{p1,0, t}$	Festgelegter Mindestwert der 1 %-Dehngrenze bei Auslegungstemperatur	N/mm ² (MPa)
$R_{p1,0/TL/ t}$	Mittlere Kriechdehngrenze (1 %) bei Lebensdauer $TL(h)$ und Auslegungstemperatur	N/mm ² (MPa)
r_i	Innenradius der Innen- und Außenkrepfen U-förmiger Wellen; siehe Gleichung (25) sowie Bild 8 und Bild 14	mm
S_b	Örtliche Sekundär-Biegespannung; siehe Tabelle 18	N/mm ² (MPa)
S_L	Dicke der Zuglasche am gebohrten Querschnitt; siehe Tabelle 18	mm
SF_c	Zeitabhängiger Sicherheitsbeiwert; siehe Tabelle 6	—
s_θ	Umfangskomponente des Umformgrads; siehe 6.2.2.5.2 und 7.4.1.2	—
s_b	Biegekomponente des Umformgrads; siehe 6.2.2.5.2 und 7.4.1.2	—
s_d	Äquivalenter Umformgrad; siehe 6.2.2.5.2 und 7.4.1.2	—
s_r	Umformgrad bei Bruch; siehe Gleichung (272)	—
TS	Maximal/minimal zulässige Temperatur; siehe 3.14	°C
t	Auslegungstemperatur	°C
t_n	Nennstärke des Materials (Band, Blech, Platte); siehe Tabelle 20	mm
w	Wellenhöhe; siehe z. B. Bild 8 und Bild 14	mm
x	Aufgebrachte axiale Bewegung aus der neutralen Stellung; siehe 6.2.7	mm
$\bar{x}$	Mittlere axiale Bewegung; siehe Gleichung (97)	mm
y	Aufgebrachte laterale Bewegung; siehe Bild 22 und Bild 23	mm
z	Schweißnahtfaktor; siehe 8.4.4 sowie Tabelle 24, Tabelle 25 und Tabelle 28	—
α	Bemaßungsparameter zur Berechnung der Welleninstabilität; siehe Gleichung (109)	—
β_0	Flankenwinkel der Balgwelle in Ausgangsstellung; siehe Gleichung (84)	Grad
$\beta_{e,alw}$	Höchstzulässiger Flankenwinkel der Balgwelle in gestreckter Stellung; siehe Gleichung (197)	Grad

Symbol	Beschreibung	Einheit			
ΔL	Zylindrische Länge des Verstärkungselements	mm			
Δq	Äquivalenter axialer Bewegungsbereich je Balgwelle; siehe Gleichung (207)	mm			
Δq^*	Normalisierte äquivalente axiale Bewegung; siehe Gleichung (45)	—			
δ	Spannungsfestigkeitsverhältnis zur Berechnung der Welleninstabilität; siehe Gleichung (109)	—			
η	Einflussfaktor des Umformprozesses; siehe Gleichung (30)	—			
κ	Berechnungsfaktor; siehe Gleichung (48)	1/mm			
$\bar{\mu}$	Wirksamer Reibungsfaktor der Lagenreibung; siehe Gleichung (47)	—			
μ_H	Reibungsfaktor der Reibung von Gelenklagern; siehe ANMERKUNG 2 in Zusammenhang mit Gleichung (222)	—			
ν_B	Poisson'sche Zahl (Querkontraktion) für den Balgwerkstoff (für nichtrostenden Stahl $\nu = 0,3$)	—			
$\sigma(\Delta q)$	Spannung aus äquivalenter axialer Bewegung Δq	N/mm ² (MPa)			
$\sigma(P)$	Spannung aus Druck P	N/mm ² (MPa)			
σ_{eq}	Gesamte äquivalente Spannungsschwingbreite aus zyklischer axialer Bewegung Δq	N/mm ² (MPa)			
θ	Aufgebrachte angulare Bewegung; siehe Bild 24	Radianen			
Indizes:					
0	ursprüngliche (Stellung)	b	Biegung	r	ringverstärkter Balg
B	Balg	c	Bordring, Welle, Stauchung	t	Endbord, Torsion,
E	Ende	d	Verformung (Bewegung)		torusförmig,
I	Zwischenstellung	e	Streckung		Auslegungstemperatur
H	Gelenk	h	Verankerungsteile	Δ	Differenz
LT	Lebensdauer im Zeitstandbereich	i	innen, innere	Θ	in Umfangsrichtung
P	Bolzen	m	Membran oder meridionale	Σ	Summe
T	Prüfbedingungen	o	außen, äußere	μ	Reibung
		p	Lagen		
^a Alle Drücke für Berechnungen sind in N/mm ² (MPa) und $p_{t, \max}$ ist in bar angegeben.					

6.1.2 Grundlegende Auslegungskriterien

6.1.2.1 Allgemeines

Kompensatoren müssen so ausgelegt sein, dass sie dem festgelegten Druck P_S bei der festgelegten Temperatur T_S standhalten. Diese Kombination aus Druck und Temperatur muss mindestens den kritischen zu erwartenden Betriebsbedingungen entsprechen.

Die nach 6.1.4 festgelegten zusätzlichen Belastungen sind ebenfalls zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Anhang H nennt die wesentlichen Auslegungsbedingungen und enthält Informationen, die als Anleitung verwendet werden können.

6.1.2.2 Balg

Die Bälge müssen nach 6.2 ausgelegt sein.

6.1.2.3 Flansche

Genormte Flansche müssen EN 1092-1:2018 oder EN 1759-1:2004 entsprechen. Alternativ dazu müssen die Berechnungen für Flansche entsprechend den Verfahren nach EN 13445-3:2014, EN 13480-3:2017, EN 1591-1:2013 oder für spezielle Verankerungsflansche nach Anhang K dieser Norm durchgeführt werden.

6.1.2.4 Rohrabschnitte

Rohrabschnitte müssen nach der zutreffenden Norm EN 13445-3:2014 oder EN 13480-3:2017 ausgelegt sein.

6.1.2.5 Leitrohre

Leitrohre müssen nach 6.3 ausgelegt sein.

6.1.2.6 Verankerungen

Verankerungen müssen nach 6.4 ausgelegt sein.

6.1.3 Zulässige Spannungen

6.1.3.1 Allgemeines

Die Auslegungsspannung muss der geringere Wert der in Tabelle 5 festgelegten zeitunabhängigen Spannung und der in 6.1.3.3 festgelegten zeitabhängigen Spannung sein und für jede Auslegungsbedingung bestimmt werden.

Die Werte der Auslegungsspannung müssen anhand der Werkstoffeigenschaften, welche in den in Tabelle 2 und Tabelle 3 angegebenen Normen und Spezifikationen festgelegt sind, bestimmt oder maßgebenden Werkstoffnormen entnommen werden.

Diese für den Lieferzustand der Werkstoffe festgelegten Mindestwerte müssen für Auslegungszwecke verwendet werden, sofern die Herstellung und/oder Wärmebehandlung nicht bekanntermaßen zu geringeren Werten führt. In diesen Fällen müssen die zu verwendenden Werte von den beteiligten Parteien vereinbart werden.

Die maximal zulässigen Spannungen für die Auslegung drucktragender Hauptteile und anderer drucktragender Teile außer Schrauben (allgemeine Membranspannung für überwiegend statische Lasten) sind wie nachstehend angegeben zu ermitteln.

ANMERKUNG Bei Verwendung von Werkstoffen mit höheren Dehngrenzen und ausreichenden Bruchdehnungswerten, welche vom Werkstoffhersteller in einer Prüfbescheinigung nach EN 10204:2004, Typ 3.1 oder 3.2, zertifiziert wurden, dürfen die zulässigen Spannungen erhöht werden. Die Erhöhung sollte nicht mehr als 50 % der Differenz zwischen den in Normen festgelegten Werten und den in der Bescheinigung zertifizierten Werten und höchstens 15% des Standardwertes dividiert durch den maßgebenden Sicherheitsbeiwert, betragen.

6.1.3.2 Auslegung unterhalb des Zeitstandbereichs (zeitunabhängig)

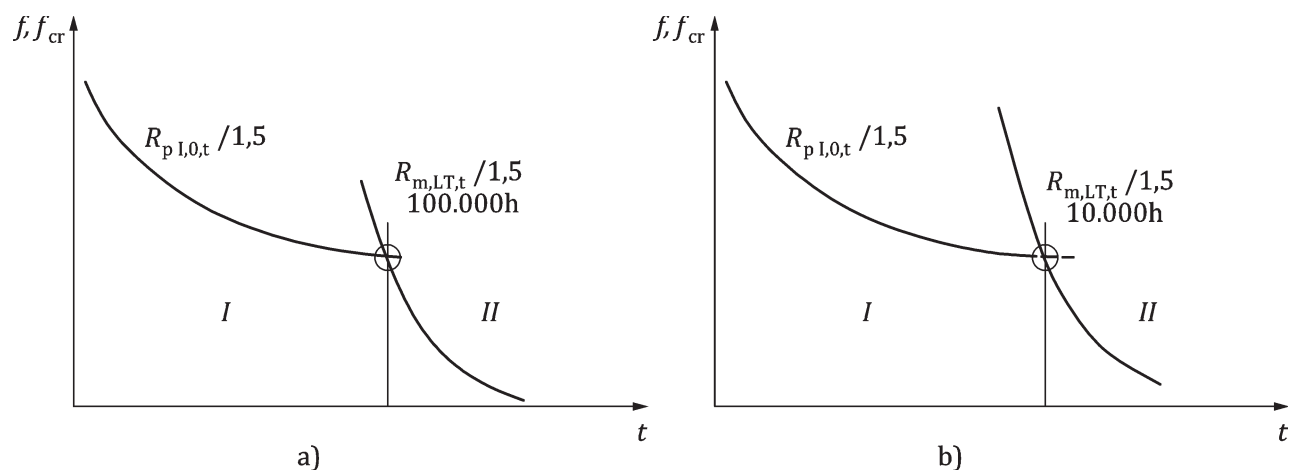
Die zulässigen Spannungen sind in Tabelle 5 angegeben.

Tabelle 5 — Zulässige Spannungen

Werkstoff	Auslegungsbedingungen	Prüfbedingungen
Austenitischer Stahl und Nickellegierungen		
— allgemein ($30 \% < A \leq 35 \%$) ^{a,b}	$f = \left(\frac{R_{p1,0,t}}{1,5} \right)$	$f_T = \left(\frac{R_{p1,0,T}}{1,05} \right)$
— alternativ ^c , wenn $A > 35 \%$	$f = \min \left(\frac{R_{p1,0,t}}{1,2}; \frac{R_{m,t}}{3} \right)$	$f_T = \max \left(\frac{R_{p1,0,T}}{1,05}; \frac{R_{m,T}}{2} \right)$
Ferritische Stähle^d einschließlich normalgeglühter (normalisierend gewalzter) Stahl	$f = \min \left(\frac{R_{eH,t}}{1,5} \text{ oder } \frac{R_{p0,2,t}}{1,5}; \frac{R_{m,20}}{2,4} \right)$	$f_T = \left(\frac{R_{p0,2,T}}{1,05} \right)$
^a Wenn $A < 30 \%$, werden die zulässigen Spannungen für „Ferritischer Stahl“ angewendet. ^b Bei Nickellegierungen ist $R_{p0,2,t}$ statt $R_{p1,0,t}$ anzuwenden. ^c Darf nicht für die Auslegung von Bälgen verwendet werden. ^d Unlegierter oder niedriglegierter Gussstahl ist ausgenommen.		

6.1.3.3 Auslegung innerhalb des Zeitstandbereichs (zeitabhängig)

Werden Druckgeräte bei erhöhten Temperaturen nahe dem Zeitstandbereich betrieben, sind die verfügbaren zeitunabhängigen zulässigen Spannungen bis zu der Temperatur anzuwenden, bei der die zeitabhängigen zulässigen Spannungen gekreuzt werden (siehe Bild 3 a)), d. h. „der geringere Spannungswert“ nach 6.1.3.1.



Legende

- I Unterhalb des Zeitstandbereichs
II Zeitstandbereich

Bild 3 — Zulässige Spannungen bei hohen Temperaturen

Erreicht der zeitunabhängige Wert für die höchste verfügbare Temperatur nach den harmonisierten Werkstoffnormen die zeitabhängigen Werte nicht, muss der zeitunabhängige Wert für die Höchsttemperatur bis zu dem Temperaturwert extrapoliert werden, bei dem die zeitabhängigen Werte gekreuzt werden, siehe Bild 3 b). Dieser extrapolierte Wert wird als zulässige zeitunabhängige Spannung angesehen.

Die zur Auslegung unter statischen Belastungen zu verwendende Auslegungsspannung im Zeitstandbereich f_c muss wie folgt sein:

$$f_{cr} = \frac{R_{m,LT,t}}{SF_c} \quad (2)$$

Dabei ist

$R_{m,LT,t}$ der Mittelwert der Zeitstandfestigkeit, der Tabelle J.3 oder harmonisierten Europäischen Normen zu entnehmen ist;

SF_c der von der Auslegungslebensdauer LT abhängige Sicherheitsbeiwert in Tabelle 6 angegeben.

Bei anderen Schweißnähten als Umfangsnähten in geschweißten Rohren und Formstücken müssen die Kriechfestigkeitswerte des Ausgangswerkstoffes um 20 % verringert werden, sofern nicht sichergestellte Kriechfestigkeitswerte für diese Bälge, Rohre und Formstücke bestimmt worden sind.

Das ist auch bei Bälgen mit Längsnähten, welche mit Zusatzwerkstoffen geschweißt wurden, zu berücksichtigen; diese Verringerung gilt ausschließlich für die Dimensionierung.

Falls die Auslegungslebensdauer nicht festgelegt ist, muss die mittlere Zeitstandfestigkeit bei 100 000 h verwendet werden.

ANMERKUNG Wird die Dicke durch die Kriecheigenschaften bestimmt, sollten zusätzliche Kriechprüfungen (beruhend auf Extrapolation unter Verwendung der Larson-Miller-Gleichung) beispielsweise an den Schweißzusätzen und der gesamten Schweißnaht vorgenommen werden.

Tabelle 6 — Auf die Lebensdauer bezogener Sicherheitsbeiwert

Auslegungslebensdauer	LT	100 000 h		200 000 h	
Mittlere Zeitstandfestigkeit	$R_{m,LT,t}$	$R_{m,100\,000,t}$		$R_{m,100\,000,t}$	$R_{m,200\,000,t}$
Sicherheitsbeiwert	SF_c	1,25 ^a	1,5 ^b	1,5 ^a	1,25 ^a
^a Mit Lebensdauer-Überwachungssystem.					
^b Ohne Lebensdauer-Überwachungssystem.					

Unterschiedliche Verfahrensweisen sind nach Vereinbarung zwischen den beteiligten Parteien möglich.

6.1.3.4 Prüfbedingungen

Der Konstrukteur muss sicherstellen, dass die Spannung unter Druckprüfbedingungen nach 8.6.2.2 nicht die zulässigen Spannungen für die Prüfbedingung nach Tabelle 5 überschreiten darf. Das gilt ebenfalls für den Prüfdruck im Zeitstandbereich, wobei f_T ausschließlich auf den zeitunabhängigen Werten der Streckgrenze bei Auslegungstemperatur oder, sofern nicht verfügbar, bei der höchsten Temperatur, für welche zeitunabhängige Werte in harmonisierten Europäischen Normen verfügbar sind, beruhen muss.

ANMERKUNG Aufgrund der kurzen Prüfdauer kann Druckfestigkeit nur durch die Druckprüfung im Hinblick auf zeitunabhängige Versagensrisiken nachgewiesen werden. Die Druckprüfung kann keine Hinweise auf die Langzeit-Druckfestigkeit geben, insbesondere nicht hinsichtlich Werkstoffschäden, welche aus Auslegungstemperaturen im Zeitstandbereich resultieren.

6.1.3.5 Auslegung nach PN

Nach PN ausgelegte Kompensatoren dürfen für Temperaturen höher als 20 °C bestimmt sein, jedoch nicht höher als die höchstzulässige Temperatur unterhalb des Zeitstandbereichs, bei dem nur zeitunabhängige Spannungen verwendet werden dürfen (siehe auch 6.1.3.2). In diesen Fällen ist der vom Hersteller angegebene Abminderungsfaktor für den Druck $k_{p,t}$, der auf den jeweiligen Werkstoffnormen beruhen muss, entsprechend der folgenden Gleichung (3) anzuwenden:

$$p_{t,max} = PN \cdot k_{p,t} \quad (3)$$

6.1.4 Zusätzliche Lasten

Zusätzliche Lasten, die die Auslegung von Kompensatoren beeinflussen können, jedoch nicht zu den für die Auslegung von Kompensatorbälgen üblichen Beanspruchungen (siehe 6.2.2.2) gehören, müssen ebenfalls betrachtet werden.

a) Innerhalb des Kompensators auftretende zusätzliche Lasten sind:

- Eigengewicht von Kompensator-Bauteilen (z. B. Zwischenrohr, Leitrohr, Verankerungsteile, feuerfeste Auskleidungen usw.);
- Eigengewicht des Durchflussmediums im Kompensator;
- dynamische Belastungen durch das strömende Medium.

Diese Lasten (ständig oder gelegentlich auftretend) müssen vom Kompensatorenhersteller angegeben werden.

b) Äußere zusätzliche Lasten durch angrenzende Rohrleitungen oder Anlagenteile:

- nicht abgestütztes Eigengewicht angrenzender Rohrleitungen/Armaturen;
- Vorspannung der Rohrleitung;
- Wärmedehnung;
- umgebungsbedingte Einflüsse (z. B. Schnee, Wind usw.);
- Schwingungen durch angrenzende Aggregate (d. h. Pumpen, Verdichter, Maschinen usw.);
- Stoßbelastungen (d. h. durch Erdbeben, Explosion usw.);
- dynamische Belastungen durch das strömende Medium.

Äußere Lasten (ständig oder gelegentlich auftretend) müssen vom Hersteller der Rohrleitung oder des Druckbehälters angegeben werden.

Diese Aufzählungen enthalten nicht alle möglichen Belastungen.

6.2 Balgausführung

6.2.1 Zweck

Dieser Unterabschnitt enthält Regeln für die Auslegung und Berechnung von Bälgen, die innerem und äußerem Druck und zyklischen Bewegungen unterliegen.

Diese Regeln sind auf die folgenden drei Balgausführungen, bestehend aus einer oder mehreren Wellen, anwendbar:

- a) unverstärkte Bälge mit nominellem U-Profil, wie in Bild 8 gezeigt;
- b) ringverstärkte Bälge mit nominellem U-Profil, wie in Bild 14 gezeigt;
- c) Torusbälge, wie in Bild 16 gezeigt.

Diese Bälge sind Teile von Kompensatoren nach den Festlegungen in Abschnitt 4.

ANMERKUNG Zu beachten ist, dass die Auslegung von Bälgen aufgrund der sich im Allgemeinen entgegenstehenden Anforderungen an Druckfestigkeit und Flexibilität sehr komplex ist. Anhang E enthält hierzu genauere Angaben.

6.2.2 Anwendungsbedingungen

6.2.2.1 Balgeometrie

- Ein Balg umfasst eine oder mehrere identische rotationssymmetrische Wellen.
- Jede Welle kann aus einer oder mehreren Lagen mit gleicher Dicke und aus gleichem Werkstoff bestehen.

Abweichende Eigenschaften, wie z. B. unterschiedliche Wellenhöhen oder unterschiedliche Werkstoffe von Lagen, sind zulässig, sofern sie entsprechend dem gegebenen Berechnungsverfahren behandelt werden und alle etwaigen zusätzlichen Einflüsse, wie z. B. Steifigkeit (Federraten) und Stabilität, berücksichtigt werden.

6.2.2.2 Lasten

Die für die Auslegung von Bälgen nach 6.2 hauptsächlich zu berücksichtigenden Belastungen sind der konstante oder veränderliche Innendruck sowie zyklische axiale, laterale oder angulare Bewegungen.

Die Berücksichtigung von Außendruckbelastung (siehe 6.2.3.4) und von Torsionsbeanspruchung des Balges (siehe 6.2.10) muss besonders beachtet werden.

Zusätzliche Lasten nach 6.1.4 sind, soweit zutreffend, gesondert zu beachten.

6.2.2.3 Temperatur

Die Anforderungen gelten für Werkstoffe bei Temperaturen unterhalb sowie innerhalb des Zeitstandbereichs, wie in 5.2.1.1 oder in den entsprechenden Europäischen Werkstoffnormen angegeben.

6.2.2.4 Schweißnähte

6.2.2.4.1 Allgemeines

Typische Schweißnähte von Bälgen neben anderen Schweißnähten in einem Kompensator sind in Bild 31 und Bild 32 dargestellt.

6.2.2.4.2 Stumpfgeschweißte Längsnähte W1 und W2

Bälge dürfen eine oder mehrere stumpfgeschweißte Längsnähte aufweisen.

- a) Bälge ohne Umfangsnähte: Bei stumpfgeschweißten Längsnähten W1 ist kein Schweißnahtfaktor z anzusetzen ($z = 1$);

- b) Bälge mit Umfangsnähten (siehe 6.2.3.6): der Schweißnahtfaktor z ist für stumpfgeschweißte Längsnähte W2 anzusetzen; siehe 8.4.3.1.

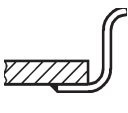
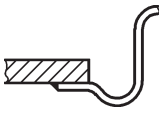
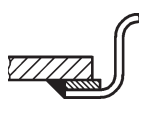
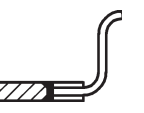
6.2.2.4.3 Stumpfgeschweißte Umfangsnähte W3

Bei Bälgen mit Umfangsnähten (siehe 6.2.3.6) und bei stumpfgeschweißten Anschlussnähten, wie in Tabelle 7, Nr. 3.0 dargestellt, gilt der Schweißnahtfaktor z für diese Stumpfnähte nicht.

6.2.2.4.4 Anschlussnähte am Balg

Umfangsgeschweißte Befestigungsnähte an ein- und mehrlagigen Bälgen müssen nach den Zeichnungen in Tabelle 7 ausgeführt werden. Für stumpfgeschweißte Befestigungsnähte nach Tabelle 7, Nr. 3.0, gilt die Festlegung von 6.2.2.4.3.

Tabelle 7 — Balg-Anschlussnähte

Art der Schweißnaht		Varianten (zulässig sind Kombinationen von A bis D)			
Nr.	Allgemeine Auslegung	A Überbord	B Bordring	C Schweißring (Hilfsring) Einfach	D Doppelt
1.1	a  Überlappnaht außen/Kehlnaht		b 		
1.2	a  Überlappnaht innen/Kehlnaht				
2.1	 eingelassene Überlappnaht außen/Fugennaht				
2.2	 eingelassene Überlappnaht innen/Fugennaht				
3.0	c  Stumpfnäht	c 			

Art der Schweißnaht		Varianten (zulässig sind Kombinationen von A bis D)			
Nr.	Allgemeine Auslegung	A Überbord	B Bordring	C Schweißring (Hilfsring) Einfach	D Doppelt
4.1	 radiale Stirnnaht (innen oder außen)				
4.2	 axiale Stirnnaht (innen oder außen)				
Allgemeines: Anschlussteile und Bordringe, die der drucktragenden Seite des Balges gegenüber liegen, müssen an der am Balg und am Endbord anliegenden Kante mit einem Radius oder einer Fase versehen sein.					
a Bei Überlappnähten muss die Schweißnahtdicke „a“ der folgenden Gleichung entsprechen: $a \geq 0,7 e$. b Der Bordring muss durch Schweißen oder mechanische Mittel axial befestigt werden. c Bei Stumpfnähten sind für das Schweißen von mehrlagigen Bälgen spezielle Werkzeuge erforderlich. d Der Schweißnahtdurchmesser sollte den mittleren Balgdurchmesser D_m um nicht mehr als 20 % der Wellenhöhe w überschreiten.					

6.2.2.5 Allgemeine Faktoren und Koeffizienten

6.2.2.5.1 Allgemeine Faktoren

Die folgenden allgemeinen Faktoren gelten in 6.2, Balgausführung.

Materialquerschnitt einer Welle:

$$A_c = \begin{cases} 2 \cdot [w + r_m \cdot (\pi - 2)] \cdot e^* & \text{für U – förmige Bälge} \\ [(2 \cdot r_m \cdot \pi - G_p) \cdot e^* + (2 \cdot L_{t,eff} + D_m - D_i - 2 \cdot r_m) \cdot e] & \text{für Torusbälge} \end{cases} \quad (4)$$

Wirksamer Querschnitt des Balges:

$$A_e = \frac{\pi}{4} \times \begin{cases} D_m^2 & \text{für U – förmige unverstärkte Bälge und Torusbälge} \\ (D_m + r_i)^2 & \text{für U – förmige verstärkte Bälge} \end{cases} \quad (5)$$

Faktoren zur Bestimmung der Schalenkoeffizienten C_p , C_f , C_d ; siehe 6.2.2.5.3.

$$C_1 = \frac{2 \cdot r_m}{w} \quad (6)$$

$$C_2 = \frac{2 \cdot r_m}{1,1 \sqrt{D_m \cdot e_p^*}} \quad (7)$$

Mittlerer Durchmesser des Bordringes am Endbord:

$$D_c = D_{i,t} + 2 \cdot e + e_c \quad (8)$$

Mittlerer Durchmesser der Balgwellen:

$$D_m = \begin{cases} D_i + e + w, & \text{für U-förmige Bälge} \\ D_o - e - 2 \cdot r_m & \text{für Torusbälge} \end{cases} \quad (9)$$

Nennwanddicke des Balges:

$$e = n_p \cdot e_p \quad (10)$$

Mindestdicke der Balglage bei:

— aus Zylindern gefertigten Bälgen mit U-Profil:

$$e_{p,o} = e_p \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot w}{D_i + 2 \cdot \eta \cdot w} \right)^{-0,75} \quad (11)$$

$$e_{p,i} = e_p \cdot \left(\frac{D_i}{D_i + 2 \cdot \eta \cdot w} \right) \quad (12)$$

— aus Halbwellen gefertigten Bälgen mit U-Profil:

$$e_{p,o} = e_p \cdot \left(\frac{D_o - e_p}{D_{n,o}} \right) \quad (13)$$

$$e_{p,i} = e_p \cdot \left(\frac{D_i + e_p}{D_{n,i}} \right)^{-0,75} \quad (14)$$

— Torusbalg:

$$e_{p,o} = e_p \cdot \left(\frac{D_i + 4 \cdot r_m}{D_i} \right)^{-0,75} \quad (15)$$

$$e_{p,i} = e_p \quad (16)$$

Äquivalente Dicke der Balglage bei:

— aus Zylindern gefertigten Bälgen mit U-Profil:

$$e_p^* = e_p \cdot [(1 - \eta) \cdot (1 + (1 - \eta) \cdot w/D_i)^{-0,5} + \eta \cdot (1 + \eta \cdot w/D_i)^{-0,667}] \quad (17)$$

— aus Halbwellen gefertigten Bälgen mit U-Profil:

$$e_p^* = \frac{(e_{p,c} + e_{p,r}) \cdot r_m \cdot \frac{\pi}{4} + e_p \cdot [w - r_m \cdot (2 - \frac{\pi}{2})]}{w + r_m \cdot (\pi - 2)} \quad (18)$$

— Torusbalg:

$$e_p^* = e_p \cdot [0,5 \cdot (1 + D_o/D_i)]^{-0,5} \quad (19)$$

Äquivalente Wanddicke:

$$e^* = n_p \cdot e_p^* \quad (20)$$

Korrekturfaktoren für mehrlagige Bälge ($n_p > 1$):

— Korrektur für Biegespannung in der Flanke auf Grund von Druck:

$$c_{n(p)} = \text{MIN} \left\langle 1 - \left\{ \frac{e_p}{r_m} \cdot (n_p - 1) \cdot \left[\frac{r_m}{w \cdot \sqrt{C_p}} - \frac{1}{4} \left(\frac{1}{\sqrt{C_p}} - 1 \right) \right] - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{C_p}} - 1 \right) \right\}; 1 \right\rangle \quad (21)$$

— Korrektur der Wellenhöhe zur Verringerung von Biegespannung auf Grund von Bewegung:

$$c_{c(d)} = \left[1 - (n_p - 1) \frac{e_p}{w} \right] \quad (22)$$

— Korrekturfaktor für verstärkte Bälge:

$$C_r = 0,36 \cdot \ln \left(\frac{w}{\Delta q} \right); \text{ gilt für } 16 \geq \frac{w}{\Delta q} \geq 2,5; \quad (23)$$

$$C_r = 1,0 \text{ für } (w/\Delta q) > 16; C_r = 0,33 \text{ für } (w/\Delta q) < 2,5$$

ANMERKUNG $C_r = 1$ bei $w/\Delta q = 16$; d. h. sehr geringe oder keine Bewegung.

Axiale Druckkraft:

$$F_p = A_e \cdot P \quad (24)$$

Mittlerer Innenradius der Innen- und Außenkrepfen einer U-förmigen Welle:

$$r_i = (r_{ic} + r_{ir})/2 \quad (25)$$

Mittlerer Radius der Innen- und Außenkrepfen einer U-förmigen Welle:

$$r_m = r_i + e/2 \quad (26)$$

Örtliche Streckgrenze nach Umformen und Wärmebehandlung:

$$R_e^* = R_{p1,0,t} \cdot c^* \cdot (s_d)^m \text{ bei Bälgen im umgeformten Zustand} \quad (27)$$

mit den Faktoren c^* und m nach Tabelle 8 und s_d nach 6.2.2.5.2.

$$R_e^* = R_{p1,0,t} \text{ bei geglühten Bälgen nach Tabelle 8 (ohne Kaltverfestigung)} \quad (28)$$

$$R_e^* = R_{p1,0,t} \cdot 0,9 \text{ bei anderweitig geglühten Bälgen} \quad (29)$$

$R_{p1,0,t}$ ist zu ersetzen durch $R_{p0,2,t}$, falls $R_{p1,0,t}$ nicht verfügbar oder zulässig ist (z. B. Nickellegierungen).

Bei ferritischen Werkstoffen ist R_e^* gleich R_{eH} .

Tabelle 8 — Werkstoffabhängige Parameter zur Berechnung der Kaltverfestigung

Werkstoff		Zustand	Werkstoffeigenschaften ^a				Spannung/ Dehnung	
(Band, Blech)			(Mindestwerte)				Parameter b,c	
Werkstoffnummer	Legierung		$R_{p0,2}$	$R_{p1,0}$	R_m	A	c^*	m
Kurzname	(informativ)		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	%	–	–
1.4301 X5CrNi18-10	304	kaltgewalzt, lösungsgeglüht	230	260	540	40	2,96	0,27
1.4306 X2CrNi19-11	304L		220	250	520	45	2,84	0,27
1.4401 X5CrNiMo17-12-2	316		240	270	530	40	2,91	0,27
1.4404 X2CrNiMo17-12-2			240	270	530	40	2,91	0,27
1.4435 X2CrNiMo18-14-3	316L		240	270	550	40	2,85	0,27
1.4539 X1CrNiMoCuN25-20 -5	904L		240	270	530	35	2,96	0,27
1.4541 X6CrNiTi18-10	321		220	250	520	40	2,88	0,27
1.4550 X6CrNiNb18-10	347	warmgewalzt, lösungsgeglüht	200	240	520	40	3,00	0,27
1.4571 X6CrNiMoTi17-12-2	316Ti	kaltgewalzt, lösungsgeglüht	240	270	540	40	2,81	0,27
1.4828 X15CrNiSi20-12	309	lösungsgeglüht	230	270	550	30	3,04	0,27
1.4876 X10NiCrAlTi32-21	800	weichgeglüht	210	240	500	30	3,15	0,27
1.4876 (H) X10NiCrAlTi32-21	800 H	lösungsgeglüht	170	200	450	30	3,53	0,3
2.4360 NiCu30Fe	400	weichgeglüht	175	200	450	30	3,60	0,3
2.4610 NiMo16Cr16Ti	C-4	lösungsgeglüht	305	340	700	40	2,68	0,24
2.4816 NiCr15Fe	600	weichgeglüht	200	230	550	30	2,96	0,3
2.4816 (H) NiCr15Fe	600 H	lösungsgeglüht	180	210	500	35	3,67	0,31
2.4819 NiMo16Cr15W	C-276	lösungsgeglüht	310	330	730	30	3,30	0,27

Werkstoff		Zustand	Werkstoffeigenschaften ^a				Spannung/ Dehnung	
(Band, Blech)			(Mindestwerte)				Parameter _{b,c}	
Werkstoffnummer	Legierung		$R_{p0,2}$	$R_{p1,0}$	R_m	A	c^*	m
Kurzname	(informativ)		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	%	–	–
2.4856 NiCr22Mo9Nb	625, Grade 1	weichgeglüht	400	440	830	35	2,59	0,25
2.4858 NiCr21Mo	825	lösungsgeglüht	235	265	550	30	3,23	0,29

^a Die Parameter c^* und m beruhen auf den gegebenen Werkstoffeigenschaften.

^b c^* und m beruhen auf Prüfdaten. Diese Parameter können erlangt werden, indem mindestens 5 experimentelle Spannungs-Dehnungs-Kurven aus Zugversuchen verwendet werden, eine Mittelwertkurve aus diesen 5 Kurven erzeugt wird, diese Mittelwert-Prüfkurve auf $R_{p0,2}$, $R_{p1,0}$ und R_m aus der entsprechenden EN-Werkstoffnorm normiert wird und die Kurve $\sigma = c^* \cdot \varepsilon^m$ mit $c^* = \frac{C}{R_{p1,0}}$ und $C = a \cdot 100^m$ durch Festlegen der Parameter a und m angepasst wird, um eine Kurve nahe der gemittelten Mittelwert-Prüfkurve zu erhalten.

^c Für austenitische nichtrostende Stähle, die nicht in dieser Tabelle aufgeführt sind, können $c^* = 2,8$ und $m = 0,27$ verwendet werden, wenn $R_{p0,2} \geq 200 \text{ N/mm}^2$, $R_{p1,0} \geq 240 \text{ N/mm}^2$ und $R_m \geq 520 \text{ N/mm}^2$.

Der Umformfaktor ist abhängig vom Umformprozess:

$$\eta = \left| \frac{D_n - D_i}{2 \cdot w} \right| \quad (30)$$

mit dem neutralen Durchmesser D_n als dem ursprünglichen Innendurchmesser des Zylinders oder der Kreisringplatte vor Beginn des Umformens. Er ist abhängig vom Umformverfahren; zur Information siehe Tabelle 9.

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

Umformverfahren für Wellen		Umformfaktor η	Bemerkungen
1	Von innen nach außen, mit Stützwerkzeugen, ausgehend vom Innendurchmesser D_i durch: — hydraulische oder Elastomerumformung — mechanisches Umformen (Aufweiten) — Rollformung	0	Stützwerkzeuge, die die Innenkrepfen der Wellen in ihrer Position auf dem Durchmesser des ursprünglichen Zylinders zurückhalten
2	Teilweise nach außen und nach innen in zwei Schritten, ausgehend vom neutralen Durchmesser D_n durch: — Rollformung — kombiniertes Umformen (hydraulisch, Elastomer- oder mechanisch mit anschließender Rollformung)	0,4 bis 0,6	Stützwerkzeuge, die den neutralen Durchmesser D_n während des ersten Schrittes in seiner Position halten
3	Teilweise nach außen und nach innen in einem Schritt; Rollformung mit gegenläufigen Rollen (freie Umformung)	0,5 bis 0,8	Außen- und Innendurchmesser ergeben sich aus Dehnungsgleichgewichten

Korrekturfaktoren unter Berücksichtigung der Versteifungswirkung von Balganbauteilen:

a) Unverstärkte und verstärkte Bälge mit nominell U-förmigen Wellen:

— Korrekturfaktor für den Balgbord:

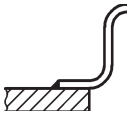
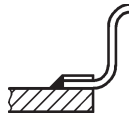
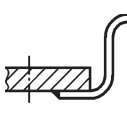
$$k_t = \min \left[\left(\frac{L_t}{1,5 \cdot \sqrt{(D_{i,t} + e) \cdot e_p}} \right); 1,0 \right] \quad (31)$$

— Korrekturfaktor für den Bordring:

$$k_c = \min \left[\left(\frac{L_c}{1,5 \cdot \sqrt{D_c \cdot e_c}} \right); 1,0 \right] \text{ für am Formstück angebrachte Bordringe} \quad (32)$$

Zu unterschiedlichen Arten von Anbauteilen siehe auch Tabelle 10.

Tabelle 10 — Versteifungswirkung unterschiedlicher Anbauteile

Probe	1	2	3	4	5	6
Bild						
Endbord	k_t	k_t	$k_t = L_{t, \text{reduced}}$	$k_t = L_{t, \text{reduced}}$	$k_t = L_{t, \text{reduced}}$	k_t
ANMERKUNG Probe 3: Rohrende wird ähnlich wie Torusbalg-Rohrenden behandelt.						

b) Torusbalg:

Die Stützwirkung des angebrachten Rohrendes wird verringert auf eine Länge:

$$L_{t,c} = \min \left[\left(\frac{1}{3} \sqrt{(D_c \cdot e_c)} \right); L_c \right] \quad (33)$$

Die Stützwirkung des Zwischenringes wird verringert auf eine Länge:

$$L_{i,c} = \min \left[\left(\frac{1}{3} \sqrt{(D_{ic} \cdot e_{ic})} \right); 0,5 \cdot L_m \right] \quad (34)$$

Theoretische elastische Federrate für einen Balg mit N Wellen, temperaturabhängig vom Elastizitätsmodul E_B :

a) Unverstärkte Bälge mit nominell U-förmigen Wellen:

$$K_B = \frac{\pi}{2 \cdot (1 - \nu_B^2)} \cdot E_B \cdot \frac{n_p}{N} \cdot D_m \cdot \left(\frac{e_p^*}{w} \right)^3 \cdot \frac{1}{C_f} \quad (35)$$

b) Verstärkte Bälge mit nominell U-förmigen Wellen:

$$K_B = \frac{\pi}{2 \cdot (1 - \nu_B^2)} \cdot E_B \cdot \frac{n_p}{N} \cdot D_m \cdot \left(\frac{e_p^*}{w - r_m} \right)^3 \cdot \frac{1}{C_f} \quad (36)$$

c) Torusbalg:

$$K_B = \frac{1}{12 \cdot (1 - \nu_B^2)} \cdot E_B \cdot \frac{n_p}{N} \cdot D_m \cdot \left(\frac{e_p^*}{r_m} \right)^3 \cdot B_3 \quad (37)$$

Dabei ist B_3 in Gleichung (155) angegeben.

Korrekturfaktor für zulässige meridionale Spannungen hinsichtlich des Einflusses von Kaltverfestigung:

$$K_f = \begin{cases} \frac{R_{e,o}^* + 2 \cdot R_{e,m}^* + R_{e,i}^*}{2 \cdot R_{p1,0}} & \text{für Bälge im umgeformten Zustand} \\ 1,5 & \text{für Bälge im geglühten Zustand (ohne Kaltverfestigung)} \end{cases} \quad (38)$$

Dabei sind die Werte für R_e^* bei Raumtemperatur angegeben und die Indizes „i“, „m“ und „o“ bedeuten innen, Mitte und außen:

$$R_{e,o}^* = R_{p1,0} \cdot c^* \cdot (s_{d,o})^m \quad (39)$$

$$R_{e,m}^* = R_{p1,0} \cdot c^* \cdot (s_{d,m})^m \quad (40)$$

$$R_{e,i}^* = R_{p1,0} \cdot c^* \cdot (s_{d,i})^m \quad (41)$$

und die werkstoffabhängigen Hauptfaktoren nach Tabelle 8 sind:

c^*, m .

Korrekturfaktor für die normalisierte äquivalente axiale Bewegung hinsichtlich des Einflusses von Kaltverfestigung:

$$K_{sr} = \begin{cases} \frac{R_{e,o,t}^* + R_{e,i,t}^*}{2 \cdot R_{p1,0,t}} & \text{für Bälge im umgeformten Zustand} \\ 1 & \text{für Bälge im geglühten Zustand (ohne Kaltverfestigung)} \end{cases} \quad (42)$$

mit

$$R_{e,o,t}^* = R_{p1,0,t} \cdot c^* \cdot (s_{d,o})^m \quad (43)$$

$$R_{e,i,t}^* = R_{p1,0,t} \cdot c^* \cdot (s_{d,i})^m \quad (44)$$

Normalisierte äquivalente axiale Bewegung einschließlich aller tatsächlich auf einen Balg einwirkenden Bewegungen:

$$\Delta q^* = \frac{3}{4 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{e_p^*}{w^2} \cdot \frac{E_B}{K_{sr} \cdot R_{p0,t}} \cdot \frac{\Delta q}{C_d} \quad (45)$$

mit $R_{p0,t}$ nach Tabelle 14.

Dynamischer Faktor für Säuleninstabilität:

$$c_{dyn,t} = \begin{cases} 1 & \text{für } \Delta q^* \leq 1 + n_t \\ \frac{a_t \cdot (\Delta q^*)^{n_t-1} - b_t \cdot (\Delta q^*)^{-3}}{2 - (a_t \cdot (\Delta q^*)^{n_t-1} - b_t \cdot (\Delta q^*)^{-3})} & \text{für } \Delta q^* > 1 + n_t \end{cases} \quad (46)$$

Wirksamer Reibungsfaktor der Lagenreibung:

$$\bar{\mu} = \mu_0 \cdot (1 - e^{-\Delta q^*}) \quad (47)$$

ANMERKUNG Mit einem Wert $\mu_0 = 0,3$ werden nachweislich realistische Ergebnisse für nichtrostenden Stahl erzielt.

Berechnungsfaktor für den Einfluss von Druck auf gekrümmte Bälge:

$$\kappa = \sqrt{2 \cdot \pi \cdot \frac{P}{K_B \cdot l_B}} \quad (48)$$

6.2.2.5.2 Äquivalenter Umformgrad in Balgwellen

6.2.2.5.2.1 Umformgrad in aus zylindrischen Rohren gefertigten Bälgen mit nominellem U-Profil

Der Umformgrad nach dem Umformprozess ist abhängig von der Stelle – Außen- oder Innenkrempe – im Wellenprofil.

Der Umformgrad an der Außenkrempe der Balgwellen ist gegeben durch:

$$s_{d,o} = 1,04 \cdot \sqrt{s_{\theta,o}^2 + 0,31 \cdot |s_{\theta,o} \cdot s_{b,o}| + 0,41 \cdot s_{b,o}^2} \quad (49)$$

Dabei sind die Komponenten des Umformgrades:

- Umfangskomponente:

$$s_{\theta,o} = \ln \left[\frac{(D_i + 2 \cdot w)}{(D_i + 2 \cdot \eta \cdot w)} \right] \quad (50)$$

- maximale Biegekomponente der inneren Lage:

$$s_{b,o} = \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{e_{p,o}}{r_{i,c}} \right) \quad (51)$$

Für die Welleninstabilität ist die mittlere Biegekomponente zu verwenden.

- maximale Biegekomponente der mittleren Lage:

$$\bar{s}_{b,o} = \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{e_{p,o}}{r_m - 0,5 \cdot e_{p,o}} \right) \quad (52)$$

Der Umformgrad an der Innenkrempe der Balgwelle ist gegeben durch:

$$s_{d,i} = 2 \cdot \left(|s_{\theta,i}| + \frac{1}{3} |s_{b,i}| \right) \quad (53)$$

Dabei sind die Komponenten des Umformgrades:

- Umfangskomponente:

$$s_{\theta,i} = \ln \left[\frac{D_i}{(D_i + 2 \cdot \eta \cdot w)} \right] \quad (54)$$

- maximale Biegekomponente der äußeren Lage:

$$s_{b,i} = \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{e_{p,i}}{r_{i,r}} \right) \quad (55)$$

Für die Welleninstabilität ist die mittlere Biegekomponente zu verwenden.

- maximale Biegekomponente der mittleren Lage:

$$\bar{s}_{b,i} = \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{e_{p,i}}{r_m - 0,5 \cdot e_{p,i}} \right) \quad (56)$$

Der vom Umformprozess abhängige Umformfaktor η ist gegeben durch Gleichung (30); zu Informationen siehe auch Tabelle 6.2.2.5-2^{N1}.

Der Umformgrad in der Mitte der Balgwelle ist gegeben durch:

$$s_{d,m} = 1,04 \cdot s_{\theta,m} \quad (57)$$

^{N1} Nationale Fußnote: Gemeint ist Tabelle 9.