

DIN EN 14917

ICS 23.040.99

Ersatz für
DIN EN 14917:2009-07 und
DIN EN 14917
Berichtigung 1:2011-07

**Kompensatoren mit metallischen Bälgen für Druckanwendungen;
Deutsche Fassung EN 14917:2009+A1:2012**

Metal bellows expansion joints for pressure applications;
German version EN 14917:2009+A1:2012

Compensateurs de dilatation à soufflets métalliques pour appareils à pression;
Version allemande EN 14917:2009+A1:2012

Gesamtumfang 207 Seiten

Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 14917:2009+A1:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 342 „Metallschläuche, Schlauchleitungen, Bälge und Kompensatoren“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom SNV (Schweiz) gehalten wird.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 082-00-01 AA „Schlauchleitungen und Kompensatoren aus Metall“ im Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD) verantwortlich.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 14917:2009-07 und DIN EN 14917 Berichtigung 1:2011-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Berichtigung 1 eingearbeitet;
- b) normative Verweisungen überarbeitet;
- c) diverse Gleichungen und Bilder wurden gestrichen oder aktualisiert;
- d) k_3 -Faktoren wurden gestrichen;
- e) 6.2.3.4.2.1 wurde umfassend überarbeitet;
- f) Tabelle 6.3.2.2-2 wurde gestrichen;
- g) neue Tabellen in Anhang J aufgenommen;
- h) Anhang ZA überarbeitet;
- i) Literaturhinweise aktualisiert;
- j) Norm redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN EN 14917: 2009-07
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 6. September 2008 angenommen und schließt Änderung 1 ein, die am 10. Januar 2012 vom CEN angenommen wurde.

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 Management-Zentrum des CEN-CENELEC 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, Rumänien, Schweden, der Schweiz, 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

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	6
Einleitung.....	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen.....	8
3 Begriffe	11
4 Klassifizierung	12
4.1 Klassifizierung von Kompensatoren	12
4.1.1 Axial-Kompensator	12
4.1.2 Angular-Kompensator	13
4.1.3 Lateral-Kompensator	13
4.1.4 Universal-Kompensator	13
4.2 Klassifizierung der Bauteile von Kompensatoren.....	17
4.2.1 Drucktragende Hauptteile (A)	17
4.2.2 Andere drucktragende Teile (B), die nicht drucktragende Hauptteile sind	17
4.2.3 Anbauteile an drucktragenden Hauptteilen und an anderen drucktragenden Teilen (C).....	17
4.2.4 Andere Teile (D)	17
5 Werkstoffe	19
5.1 Allgemeines	19
5.1.1 Werkstoffe für drucktragende Teile	19
5.1.2 Werkstoffe für Anbauteile an drucktragenden Teilen	19
5.1.4 Dokumentation.....	19
5.2 Drucktragende Teile	19
5.2.1 Bälge	19
5.2.2 Andere drucktragende Teile	20
5.2.3 Duktilität.....	20
5.2.4 Sprödbbruch.....	21
5.3 Werkstoffdokumentation	21
6 Konstruktion.....	25
6.1 Allgemeines	25
6.1.1 Symbole und allgemeine Faktoren	25
6.1.2 Grundlegende Auslegungskriterien.....	33
6.1.3 Zusätzliche Lasten	34
6.2 Bälge	35
6.2.1 Zweck	35
6.2.2 Anwendungsbedingungen.....	35
6.2.3 Unverstärkter Balg mit U-Profil	40
6.2.4 Ringverstärkter Balg mit U-Profil	55
6.2.5 Torusbälge.....	62
6.2.6 Spezielle Ermüdungskurven für die Auslegung.....	70
6.2.7 Bälge mit axialen, lateralen oder angularen Bewegungen	70
6.2.8 Äquivalente axiale Bewegung je Welle.....	75
6.2.9 Kräfte und Momente an druckbeaufschlagten Kompensatoren.....	80
6.2.10 Bälge mit Torsionsbeanspruchung (unverstärkt oder verstärkt)	90
6.3 Verankerungen.....	90
6.3.1 Allgemeines	90
6.3.2 Auslegungsparameter	91
6.3.3 Auslegungstemperatur	94
6.3.4 Teile	95
6.4 Leitrohr	97
6.4.1 Anwendungsbereich	97
6.4.2 Zusätzliche Symbole	97

6.4.3	Strömungsgeschwindigkeit	97
6.4.4	Auslegungsbedingungen	99
7	Herstellung	101
7.1	Allgemeines	101
7.2	Werkstoffe	101
7.2.1	Allgemeines	101
7.2.2	Rückverfolgbarkeit des Werkstoffes	101
7.3	Dauerhafte Verbindungen	101
7.3.1	Allgemeines	101
7.3.2	Verfahren und Bedienungspersonal	101
7.3.3	Reparatur und Nachbesserung bei der Herstellung	102
7.4	Balgformung	102
7.4.1	Umformverfahren	102
7.4.2	Wärmebehandlung	103
7.5	Toleranzen	103
7.5.1	Allgemeines	103
7.5.2	Balg	104
7.5.3	Kompensator	105
7.6	Fertigungsbegleitende Prüfungen	105
8	Prüfungen und Dokumentation	105
8.1	Abkürzungen	105
8.2	Allgemeines	106
8.3	Dokumentation	106
8.4	Kontrollen und Prüfungen während der Fertigung	106
8.4.1	Allgemeines	106
8.4.2	Werkstoffe	106
8.4.3	Dauerhafte Verbindungen	107
8.4.4	Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißnähten	108
8.5	ZfP-Verfahren	113
8.5.1	Allgemeines	113
8.5.2	Annahmekriterien	114
8.5.3	Qualifizierung und Zulassung des ZfP-Personals	114
8.5.4	Prüfberichte	114
8.6	Endabnahme und Dokumentation	117
8.6.1	Allgemeines	117
8.6.2	Endprüfung	118
8.7	Dokumentation	120
8.7.1	Schlussdokumentation	120
8.7.2	Konformitätserklärung/Zertifizierung	121
8.7.3	Betriebsanleitung	121
9	Kennzeichnung und Beschriftung	122
10	Handhabung und Einbau	123
10.1	Allgemeine Hinweise	123
10.2	Verpackung und Lagerung	123
10.3	Einbau	123
10.4	Unverankerte Kompensatoren	124
10.5	Verankerte Kompensatoren	124
Anhang A (informativ)	Kategorien von Kompensatoren	125
A.0	Allgemeines	125
A.1	 Bestimmung der Kategorie von Kompensatoren 	125
A.2	Fluidgruppen	125
A.2.1	Allgemeines	125
A.2.2	Gruppe 1	125
A.2.3	Gruppe 2	126
A.3	Technische Anforderungen	126

	Seite
A.3.1 Kompensatoren für Behälter	126
A.3.2 Kompensatoren für Rohrleitungen	127
A.3.3 Gute Ingenieurpraxis (GIP)	127
A.4 Kategorien der Kompensatoren	127
Anhang B (normativ) Spezifikation für die Werkstoffe 1.4828, 1.4876, 2.4360 und 2.4858.....	136
B.1 Allgemeines	136
Anhang C (informativ) Einbau von Kompensatoren in Druckbehälter und Rohrleitungen	141
C.1 Einleitung.....	141
C.2 Besondere Symbole und Begriffe	142
C.3 Verwendung der verschiedenen Bauarten von Kompensatoren	142
C.3.1 Allgemeines	142
C.3.2 Verwendung von Axial-Kompensatoren	142
C.3.3 Verwendung von Angular-Kompensatoren	147
C.3.4 Lateral-Kompensatoren mit Zugstangen	150
C.3.5 Verwendung von Universal-Kompensatoren	152
C.4 Unbestimmte Anordnungen	155
C.4.1 Allgemeines	155
C.4.2 Gerader Leitungsabschnitt mit Axial-Kompensatoren	155
C.4.3 Ebenes Leitungssystem mit Angular-Kompensatoren	156
C.4.4 Räumliche Leitungssysteme mit drei Kardangelenken	156
C.4.5 Räumliches Leitungssystem mit Lateral-Kompensatoren	157
C.5 Kompensatoren in Wärmetauschern	157
C.5.1 Allgemeines	157
C.5.2 In den Mantel eingebaute Axial-Kompensatoren	157
C.5.3 Axial-Kompensator am Schwimmkopf	158
Anhang D (informativ) Berechnungsverfahren für Rohrleitungssysteme mit Kompensatoren.....	159
D.1 Allgemeines	159
D.1.1 Einführende Bemerkungen	159
D.1.2 Bestimmen von Bewegungswerten	159
D.1.3 Wärmedehnung	159
D.2 Näherungsweise Berechnung von Balgbewegungen	161
D.2.1 Allgemeines	161
D.2.2 Gelenksysteme.....	162
D.2.3 Definitionen	162
D.3 Genaue Berechnung von Balgbewegungen	167
D.3.1 Zwei Einfachgelenke in einem ebenen System (Z-System)	167
D.3.2 Zwei Kardangelenke in einem räumlichen System (räumliches Z-System)	168
D.3.3 Drei Gelenke in einem U-förmigen ebenen System (U-System)	169
D.3.4 Drei Gelenke in einem ebenen System (L-System)	170
D.3.5 Drei Gelenke in einem räumlichen System (räumliches Z-System)	172
D.4 Berechnung von Kräften und Momenten	175
Anhang E (informativ) Betrachtungen zur Auslegung von Kompensatorbälgen	176
E.1 Allgemeines	176
E.2 Balgausführung	177
E.3 Mehrlagige Bälge	177
E.4 Druckfestigkeit	177
E.5 Erwartete Lebensdauer	177
E.6 Instabilität durch Innendruck	178
E.7 Instabilität durch Außendruck	178
E.8 Federrate des Balges	178
Anhang F (informativ) Vorgehensweise bei der Erstellung einer Ermüdungskurve.....	181
F.1 Allgemeines	181
F.2 Verfahren für die Erstellung einer Ermüdungskurve für Kompensatorbälge	181
F.2.1 Allgemeines	181
F.2.2 Anzahl an Prüfungen	181

	Seite
F.2.3 Extrapolationsbereich.....	181
F.2.4 Herstellungsverfahren	182
F.2.5 Balgwerkstoff.....	182
F.3 Prüfungen.....	182
F.3.1 Bewegung	182
F.3.2 Prüfdruck.....	182
F.3.3 Weitere Prüfbedingungen.....	183
F.3.4 Prüfeinrichtung für die Lastspielprüfung	183
F.4 Auswertung der Prüfergebnisse	184
F.5 Lineare Regression	189
Anhang G (informativ) Polynomische Näherungen für die Koeffizienten C_p , C_f , C_d	190
G.1 Koeffizient C_p	190
G.2 Koeffizient C_f	191
G.3 Koeffizient C_d	191
G.4 Lineare Interpolation	192
Anhang H (informativ) Erforderliche Auslegungsdaten und Angaben	193
H.1 Erforderliche Auslegungsbedingungen.....	193
H.2 Zusätzliche Angaben.....	193
Anhang I (informativ) Risikoanalysen für Kompensatoren	194
Anhang J (informativ) Werkstoffeigenschaften und Werkstoffgruppen	196
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 97/23/EG	202
Literaturhinweise.....	204

Vorwort

Dieses Dokument (EN 14917:2009+A1:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 342 „Metallschläuche, Schlauchleitungen, Bälge und Kompensatoren“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom  SNV  gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis September 2012, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis September 2012 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie 97/23/EG.

Zum Zusammenhang mit der EU-Richtlinie 97/23/EG, siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Dieses Dokument beinhaltet die Änderung 1, die von CEN am 2012-01-08 genehmigt wurde.

Dieses Dokument ersetzt EN 14917:2009.

Der Beginn und das Ende des Textes, der durch eine Änderung eingefügt oder geändert wurde, wird im Text durch die Markierungen   angezeigt.

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

Einleitung

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

Die Risikoanalyse wurde bereits vorgenommen, wenn ein Kompensator nach der vorliegenden Europäischen Norm ausgelegt und hergestellt wird, siehe Anhang I.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt Anforderungen an die Konstruktion, Herstellung und den Einbau von Kompensatoren mit metallischen Bälgen für Druckanwendungen fest, d. h. für einen 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 287-1, *Prüfung von Schweißern — Schmelzschweißen — Teil 1: Stähle*

EN 473, *Zerstörungsfreie Prüfung — Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung — Allgemeine Grundlagen*

EN 571-1, *Zerstörungsfreie Prüfung — Eindringprüfung — Teil 1: Allgemeine Grundlagen*

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

EN 764-5:2002, *Druckgeräte — Teil 5: Prüfbescheinigungen für metallische Werkstoffe und Übereinstimmung mit der Werkstoffspezifikation*

EN 970, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schmelzschweißnähten — Sichtprüfung*

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

EN 1289:1998, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Eindringprüfung von Schweißverbindungen — Zulässigkeitsgrenzen*

EN 1290, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Magnetpulverprüfung von Schweißverbindungen*

EN 1291:1998, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Magnetpulverprüfung von Schweißverbindungen — Zulässigkeitsgrenzen*

EN 1418, *Schweißpersonal — Prüfung von Bedienern von Schweißeinrichtungen zum Schmelzschweißen und von Einrichtern für das Widerstandsschweißen für vollmechanisches und automatisches Schweißen von metallischen Werkstoffen*

EN 1435:1997, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Durchstrahlungsprüfung von Schmelzschweißverbindungen*

EN 1593, *Zerstörungsfreie Prüfung — Dichtheitsprüfung — Blasenprüfverfahren*

EN 1712:1997, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung von Schweißverbindungen — Zulässigkeitsgrenzen*

EN 1713, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung — Charakterisierung von Anzeigen in Schweißnähten*

EN 1714:1997, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung von Schweißverbindungen*

EN 1779:1999, *Zerstörungsfreie Prüfung — Dichtheitsprüfung — Kriterien zur Auswahl von Prüfmethoden und -verfahren*

EN 10002-1, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur*

EN 10002-5, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 5: Prüfverfahren bei erhöhter Temperatur*

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

■^{A1} EN 10028-2:2009 ^{A1}, *Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen — Teil 2: Unlegierte und legierte Stähle mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen*

■^{A1} EN 10028-3:2009 ^{A1}, *Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen — Teil 3: Schweißgeeignete Feinkornbaustähle, normalgeglüht*

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

EN 10028-7:2007, *Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen — Teil 7: Nichtrostende Stähle*

EN 10045-1, *Metallische Werkstoffe — Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy — Teil 1: Prüfverfahren*

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

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

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

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

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

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

EN 10217-2, *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, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 3: Rohre aus legierten Feinkornbaustählen*

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

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

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

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

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

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

EN 10253-2, *Formstücke zum Einschweißen — Teil 2: Unlegierter und legierter Stahl mit besonderen Prüfanforderungen*

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

EN 10272, *Stäbe aus nichtrostendem Stahl für Druckbehälter*

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

EN 12517-1:2006, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Teil 1: Bewertung von Schweißverbindungen in Stahl, Nickel, Titan und ihren Legierungen mit Durchstrahlung — Zulässigkeitsgrenzen*

EN 13184, *Zerstörungsfreie Prüfung — Dichtheitsprüfung — Druckänderungsverfahren*

EN 13185, *Zerstörungsfreie Prüfung — Dichtheitsprüfung — Prüfgasverfahren*

EN 13445-2:2002, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 2: Werkstoffe*

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

EN 13480-2:2002, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 2: Werkstoffe*

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

EN 13480-4, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 4: Fertigung und Verlegung*

EN ISO 643, *Stahl — Mikrophotographische Bestimmung der scheinbaren Korngröße (ISO 643:2003)*

EN ISO 3651-2, *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, *Schweißen — Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2003 + Cor. 1:2006)*

EN ISO 6506-1, *Metallische Werkstoffe — Härteprüfung nach Brinell — Teil 1: Prüfverfahren (ISO 6506-1:2005)*

EN ISO 6520-1, *Schweißen und verwandte Prozesse — Einteilung von geometrischen Unregelmäßigkeiten an Metallen — Teil 1: Schmelzschweißen (ISO 6520-1:2007)*

EN ISO 9445:2006, *Kontinuierlich gewalztes Kaltband, Kaltbreitband, Blech und Kaltband in Stäben aus nichtrostenden Stählen — Grenzabmaße und Formtoleranzen (ISO 9445:2002)*

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

EN ISO 15609-1, *Anforderung an und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 1: Lichtbogenschweißen (ISO 15609-1:2004)*

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

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

EN ISO 15614-1, *Anforderungen an und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfungen — Teil 1: Lichtbogen- und Gasschweißen von Stählen und Lichtbogen-schweißen von Nickel und Nickellegierungen (ISO 15614-1:2004)*

ISO 15348:2002, *Pipework — Metal bellows expansion joints — General*

EAM-0526-18 NiMo16Cr15W (2.4819) — *Nickel-Molybdenum-chromium alloy — Flat products*

EAM-0526-28 NiMo16Cr16Ti (2.4610) — *Nickel-Chromium-Molybdenum alloy — Flat products*

EAM-0526-40 NiCr22Mo9Nb-gr.1 (2.4856) — *Nickel-Chromium-Molybdenum alloy — Flat products*

EAM-0526-43-1 NiCr15Fe (2.4816) — *Nickel-Chromium-Iron alloy — Hot and cold rolled flat products*

EAM-0526-43-2 NiCr15Fe (2.4816) — *Nickel-Chromium-Iron alloy — Bars and rods*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Grundbegriffe nach ISO 15348:2002 und die folgenden Begriffe.

3.1

Balg

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

3.2

Welle/Balgwelle

flexibles Element eines Balges

3.3

Endborde

zylindrische, nicht gewellte Teile an den Enden eines Balges

3.4

Bordring, verstärkend

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

3.5

Schweißring (Hilfsring)

als Schweißhilfe an den Endborden angebrachter Ring

3.6

Verstärkungs- und Ausgleichsringe

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

3.7

Klassifizierung

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

3.8
maximal zulässiger Druck
PS

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

3.9
maximal/minimal zulässige Temperatur
TS

vom Druckgerätehersteller angegebene $\overline{A_1}$ maximale und minimale $\overline{A_1}$ Temperatur, für die das Druckgerät ausgelegt ist

3.10
Nennndruck
PN

Kenngroße, die üblicherweise als Bezugsgröße für Rohrleitungskomponenten und für lagerhaltige Bauteile verwendet wird; entspricht in dieser Europäischen Norm dem maximal zulässigen Druck bei 20 °C

3.11
axiale Druckkraft

F_p
Axialkraft die durch die Einwirkung von Druck entsteht

3.12
neutrale Stellung
Länge eines Balges im „spannungsfreien“ Zustand

3.13
Knicken
Säulen- oder Welleninstabilität eines Balges unter Einwirkung von Innendruck

3.14
Kategorie
Einstufung eines Druckgerätes in Abhängigkeit des steigenden Gefährdungspotentials

ANMERKUNG Siehe Anhang A.

3.15
Gerätehersteller
für die Werte der Kenngrößen PS und TS verantwortliche Person

ANMERKUNG 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.

4 Klassifizierung

4.1 Klassifizierung von Kompensatoren

Es gibt vier Bauarten von Kompensatoren, die je nach Art der Bewegungsaufnahme konstruiert sind; geläufige Beispiele sind in Tabelle 4.1 aufgeführt.

4.1.1 Axial-Kompensator

Er nimmt hauptsächlich $\overline{A_1}$ axiale Bewegungen $\overline{A_1}$ auf. Die nicht druckentlastete Bauart nimmt keine axialen Druckkräfte auf. Die druckentlastete Bauart nimmt die axialen Druckkräfte auf. Er kann mit Innen- oder Außendruck beaufschlagt werden.

4.1.2 Angular-Kompensator

Er nimmt angulare Bewegungen auf. Ist der Kompensator mit Einfachgelenken ausgerüstet, lässt er die Bewegung in nur einer Ebene zu. Ist er mit Kardanringen ausgerüstet, lässt er Bewegungen in allen Ebenen zu. Außerdem nimmt er die axiale Druckkraft auf.

4.1.3 Lateral-Kompensator

Er nimmt laterale Bewegungen auf. Eine angulare Bewegung ist auch möglich, wenn der Kompensator mit zwei gelenkig gelagerten Zugstangen ausgerüstet ist und die Bewegung senkrecht zu der Ebene mit den Zugstangen erfolgt oder wenn er mit einfachen oder kardanischen Doppelgelenken versehen ist. Er nimmt die axiale Druckkraft auf.

4.1.4 Universal-Kompensator

4.1.4.1 Nicht druckentlastet

Er nimmt unterschiedliche Bewegungen auf, nimmt aber keine axialen Druckkräfte auf.

4.1.4.2 Druckentlastet

Ein druckentlasteter Universal-Kompensator dient zur Aufnahme von Axial- und Lateralbewegungen 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. Diese Kompensatoren werden häufig an Richtungsänderungen von Rohrleitungen eingebaut; es stehen jedoch auch Ausführungen für gerade Rohrleitungen zur Verfügung.

Tabelle 4.1 — Bauarten von Kompensatoren

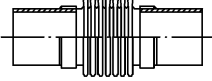
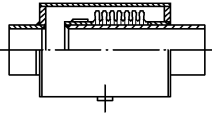
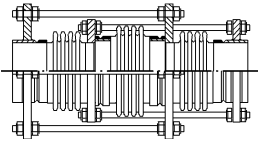
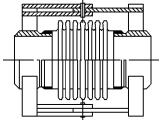
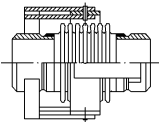
Bauart	Ausführung		Nimmt axiale Druckkraft auf	Bewegung				
				Axial	Angular		Lateral	
					Eine Ebene	Mehrere Ebenen	Eine Ebene	Mehrere Ebenen
Axial-Kompensator	Nicht druckentlastet, innendruckbeaufschlagt		Nein	X	(X)	(X)	(X)	(X)
	Nicht druckentlastet, außendruckbeaufschlagt		Nein	X	(X)	(X)	(X)	(X)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

Tabelle 4.1 (fortgesetzt)

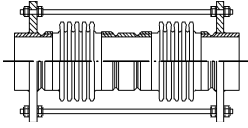
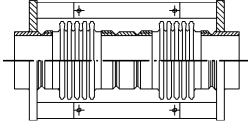
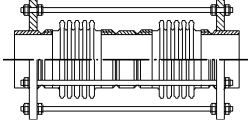
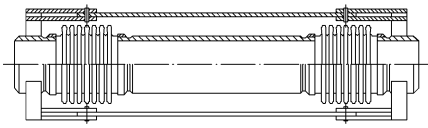
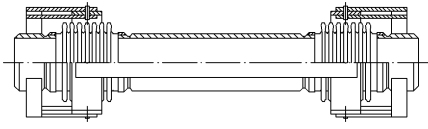
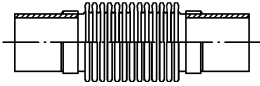
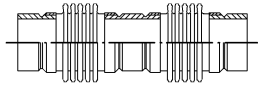
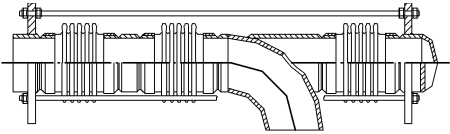
Bauart	Ausführung		Nimmt axiale Druckkraft auf	Bewegung				
				Axial	Angular		Lateral	
					Eine Ebene	Mehrere Ebenen	Eine Ebene	Mehrere Ebenen
Lateral-Kompensator	Zwei Zugstangen, gelenkig gelagert		Ja		X		X	X
	Zwei Zuganker mit Gelenkbolzen (in einer Ebene)		Ja				X	
	Mindestens drei Zugstangen		Ja				X	X
	Einfaches Doppelgelenk		Ja		X		X	
	Kardanisches Doppelgelenk		Ja		X	X	X	X

Tabelle 4.1 (fortgesetzt)

Bauart	Ausführung		Nimmt axiale Druckkraft auf	Bewegung				
				Axial	Angular		Lateral	
					Eine Ebene	Mehrere Ebenen	Eine Ebene	Mehrere Ebenen
Universal-Kompensator	Unverankert, ein oder zwei Bälge		Nein	X	X	X	X	X
								
	Druckentlastet (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 4.2.

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

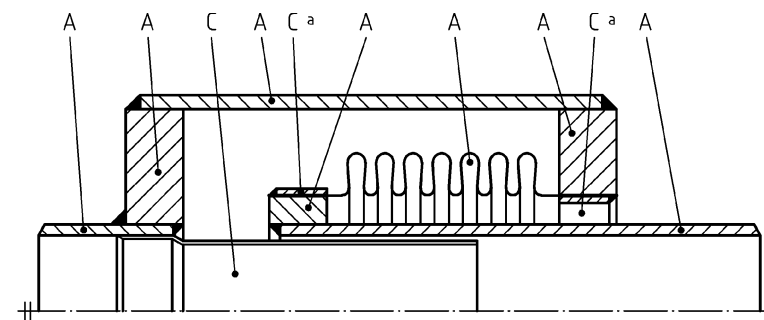
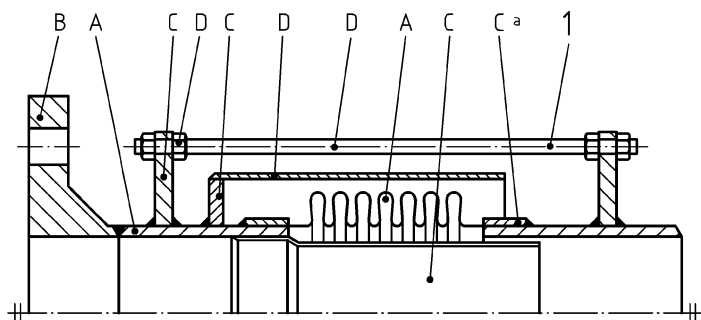
Teile, die indirekt mit Druck beaufschlagt werden und mit dem Medium nicht in unmittelbarem Kontakt stehen, und Teile, die sich mit dem Medium in Kontakt befinden, aufgrund ihrer Auslegung jedoch für die drucktragende Integrität der Anlage nicht von Bedeutung sind, siehe Bild 4.2.

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.



Legende

- 1 Vorspannanker oder Transportsicherungen

Bild 4.2 a — Axial-Kompensator, nicht druckentlastet, innendruckbeaufschlagt

Bild 4.2 b — Axial-Kompensator, nicht druckentlastet, außendruckbeaufschlagt

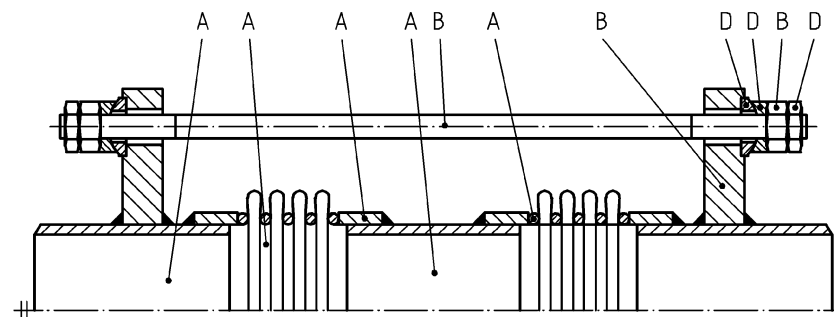
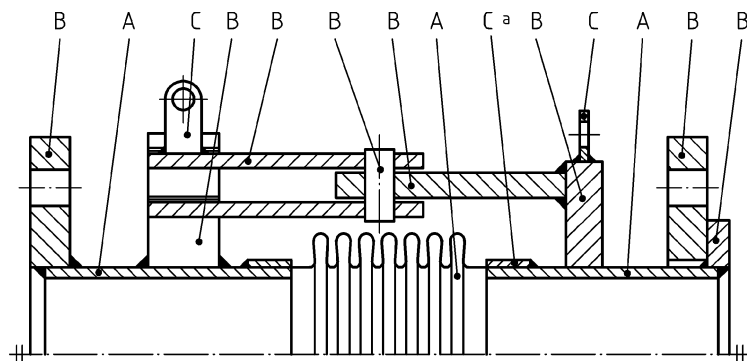


Bild 4.2 c — Angular-Kompensator

Bild 4.2 d — Lateral-Kompensator

^a Schweißringe, die auch zur Verstärkung dienen, sind A-Teile (siehe Tabelle 6.2.2.4.4-1).

ANMERKUNG Diese Bilder sind nur schematische Darstellungen.

Bild 4.2 — 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 4.2 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. Zusätzlich müssen sie den Anforderungen von 5.2 entsprechen.

5.1.2 Werkstoffe für Anbauteile an drucktragenden Teilen

Bei Teilen nach 4.2.3 und wie in Bild 4.2 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. 

5.1.4 Dokumentation

Alle Werkstoffe sind mit der in 5.3 festgelegten Dokumentation zu liefern.

5.2 Drucktragende Teile

5.2.1 Bälge

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 5.1 angegeben. Die Tabelle enthält auch die minimalen und maximalen Grenzwerte für die Betriebstemperatur der verschiedenen Werkstoffe.

Geeignete physikalische Eigenschaften für diese Werkstoffe sind in EN 10028-7, den entsprechenden Europäischen Werkstoffzulassungen (EAM) oder im Anhang B angegeben.

Anhang J (informativ) enthält einen Auszug der in den europäischen Werkstoffzulassungen (EAM) nach Tabelle 5.1 aufgeführten Eigenschaften sowie zusätzliche Werkstoffeigenschaften zur Information, z. B. Zeitstandfestigkeitswerte und Eigenschaften für den Einsatz bei sehr tiefen Temperaturen.

Andere, in Tabelle 5.1 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) übereinstimmen oder für sie ein Werkstoff-Einzelgutachten (PMA) nach der Festlegung in EN 764-4 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.

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

5.2.2 Andere drucktragende Teile

Zulässige Werkstoffe für andere drucktragende Teile sind je nach Anwendungsfall aus Tabelle 5.1 oder aus den in Tabelle 5.2 angegebenen Normen zu wählen.

Die Verwendung bei tiefen Temperaturen bei einem Beanspruchungsgrad geringer als 1,0 nach Tabelle 5.2 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:
 - 1) aufgrund der Konstruktion und Herstellung Spannungsspitzen vermieden werden und
 - 2) unter Betriebsbedingungen keine Rissbildung zu erwarten ist.
- b) Der Kompensatorhersteller muss nach dem Umformen oder Schweißen zusätzlich eine Behandlung durch Spannungsarmglühen durchführen.
- c) Eine Wärmebehandlung nach dem Umformen oder Schweißen ist bei Beanspruchungsgrad 0,75 sowie bei ferritischen Werkstoffen der Gruppe 1.1 oder 1.2 nach Tabelle J.7 und einer Wanddicke von höchstens 10 mm nicht erforderlich.

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 ausgestellt wurde.

5.2.3 Duktilität

Alle Werkstoffe müssen im Lieferzustand ausreichend duktil sein.

Werkstoffe mit einer Bruchdehnung A von weniger als 14 % und einer Kerbschlagarbeit von weniger als 27 J, gemessen an einer V-Kerbprobe nach ISO bei einer Temperatur von höchstens 20 °C und nicht höher als die tiefste vorgesehene Betriebstemperatur, dürfen für drucktragende Hauptteile (4.2.1) und andere drucktragende Teile (4.2.2) nicht verwendet werden.

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 sind aus den nach 5.2.1.1 zulässigen Werkstoffen zu fertigen. Werden die Bälge aus Werkstoffen nach Tabelle 5.1 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 sind aus den nach 5.2.2 zulässigen Werkstoffen zu fertigen, und sie dürfen nicht bei Temperaturen verwendet werden, die unter den in Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2 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 nicht rostenden Stählen (Gruppe 8) mit Dicken von mehr als 20 mm sowie aus Nickellegierungen ist ein Kerbschlagbiegeversuch nach EN 10045-1 durchzuführen, wenn die Kerbschlagarbeit in der jeweiligen Werkstoffnorm nicht bereits festgelegt ist.

Die Kerbschlagarbeit ist durch den Kerbschlagbiegeversuch bei einer Temperatur von höchstens 20 °C und nicht höher als die tiefste zu erwartende Betriebstemperatur oder bei einer Prüftemperatur von -196 °C zu bestimmen, falls die Betriebstemperatur geringer ist.

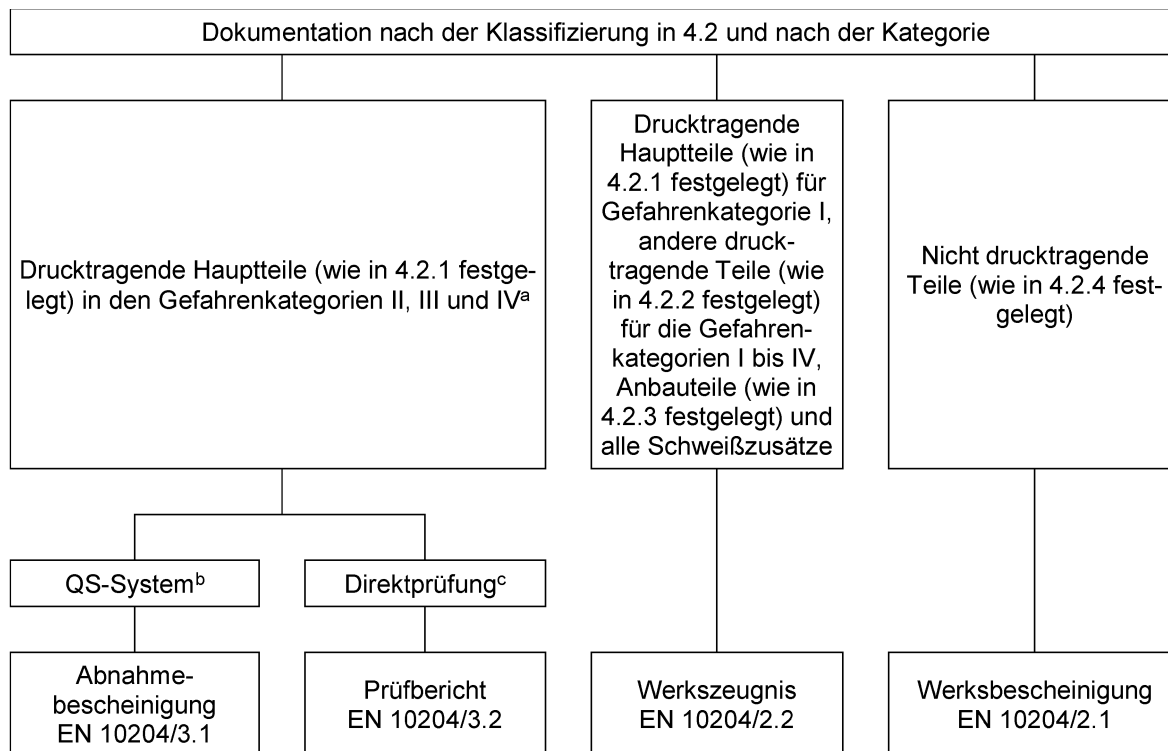
Die gemessene Kerbschlagarbeit muss:

- bei ferritischen Stählen (Gruppe 1) mindestens 27 Joule;
- bei austenitischen nicht rostenden Stählen (Gruppe 8) und Nickellegierungen mindestens 40 Joule betragen oder dem in der zutreffenden Norm vorgegebenen Wert entsprechen, je nachdem welcher Wert größer ist.

5.3 Werkstoffdokumentation

Für Kompensatoren verwendete Werkstoffe sind mit der in EN 764-5 festgelegten Dokumentation zu liefern.

Ein vereinfachtes Diagramm der Verfahrensschritte für die Prüfbescheinigungen, Dokumentation und die Übereinstimmung mit der Werkstoffspezifikation ist in Bild 5.3 angegeben.



^a Die Kategorien sind in Anhang A beschrieben.

^b Bei Verwendung eines aufgelisteten Werkstoffes ist das Qualitätssicherungssystem (Fertigung im Rahmen eines QS-Systems nach EN 764-5, Abschnitt 4) zu Grunde zu legen.

^c Bei Verwendung eines nicht aufgelisteten Werkstoffes ist die Direktprüfung (nach EN 764-5, Abschnitt 5) durchzuführen.

Bild 5.3 — Erforderliche Werkstoffdokumentation

Tabelle 5.1 — Werkstoffe für Balgelemente und andere drucktragende Teile und deren Temperaturgrenzen (siehe auch Tabelle 5.2)
(Zusätzliche Angaben, siehe Anhang J)

Werkstoff			Temperatur °C		Dokument
Art	Nummer	Kurzname	Minimum	Maximum	
Nicht-rostende austenitische Stähle	1.4301	X5CrNi18-10	−196 ^a	550	EN 10028-7:2007
	1.4306	X2CrNi19-11	−270 ^a	550	
	1.4401	X5CrNiMo17-12-2	−196 ^a	550	
	1.4404	X2CrNiMo17-12-2	−270 ^b	550	
	1.4435	X2CrNiMo18-14-3	−270 ^a	550	
	1.4539	X1CrNiMoCuN25-20-5	−196 ^a	550	
	1.4541	X6CrNiTi18-10	−270 ^c	550	
	1.4550	X6CrNiNb18-10	−196 ^a	550	
	1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	−270 ^c	550	
Wärme-beständige austenitische Stähle	1.4828	X15CrNiSi20-12	−196	900 ^d	Anhang B, Position 1
	1.4876	X10NiCrAlTi32-21 X10NiCrAlTi32-21 (H)	−196	600 900 ^d	Anhang B, Position 2.1 Anhang B, Position 2.2
Nickel-legierungen	2.4610	NiMo16Cr16Ti	−196	400	EAM-0526-28
	2.4816	NiCr15Fe	−10 (−270)	450 (900) ^d	EAM-0526-43-1, EAM-0526-43-2 ([9], [10])
	2.4819	NiMo16Cr15W	−196	400	EAM-0526-18
	2.4856	NiCr22Mo9Nb	−196 (−270)	450 (900) ^d	EAM-0526-40 ([11], [12])
	2.4360	NiCu30Fe	−196	425	Anhang B, Position 3
	2.4858	NiCr21Mo	−270	540	Anhang B, Position 4
ferritische Stähle	1.0345	P235GH	−20	400	EN 10028-2:2009
	1.0425	P265GH	−20	400	
	1.5415	16Mo3	−20 ^e	500	
	1.7335	13CrMo4-5	−20 ^e	500	
	1.0565	P355NH	−20	400	EN 10028-3:2009
	1.8935	P460NH	−20	400	
^a Mindesttemperatur nach EN 13445-2, Anhang B oder EN 13480-2, Anhang B.					
^b Mindesttemperatur nach CERN [7].					
^c Mindesttemperatur für kaltgewalzten Bandstahl bis 6 mm Dicke und warmgewalztes Blech bis 12 mm Dicke [2].					
^d Bei Verwendung der Werkstoffe bei erhöhten Temperaturen über 550 °C sollte besonders auf die Gefahr von Sprödbbruch geachtet werden.					
^e Die Mindesttemperatur ist zulässig, wenn die festgelegte Mindest-Kerbschlagarbeit (gewöhnlich 27 J) erbracht werden kann.					

A1

Tabelle 5.2 — Werkstoffnormen für andere drucktragende Teile

Lfd. Nr.	Beschreibung	Europäische Norm	Tiefste zulässige Betriebstemperatur in °C		
			Beanspruchungsgrad		
			1,0	0,75 ^a	0,25 ^a
1	Unlegierte Stahlrohre mit festgelegten Eigenschaften bei Raumtemperatur: — nahtlose Rohre — geschweißte Rohre	EN 10216-1 EN 10217-1	–10	–60 ^b	–85 ^b
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 ^c EN 10216-2 EN 10217-2 EN 10217-5 EN 10222-2 EN 10272, EN 10273 EN 10269	–10	–60	–85
3	Schweißgeeignete Feinkornbaustähle, normalgeglüht: — Flacherzeugnisse — nahtlose Rohre — geschweißte Rohre — Schmiedestücke aus Stahl	EN 10028-3 (P...NH) EN 10216-3 EN 10217-3 EN 10222-4	–20	–70	–100
4	Flach- und Langerzeugnisse aus schweißgeeigneten Feinkornbaustählen, normalgeglüht/normalisierend gewalzt mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen	EN 10028-3 (P...NL1, NL2)	$T_{\min}^d$	$T_{\min} - 50$	$T_{\min} - 80$
5	Flacherzeugnisse für Druckanwendungen aus nickellegierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen	EN 10028-4	$T_{\min}^d$	$T_{\min} - 50$	$T_{\min} - 80$
6	Rohre für Druckanwendungen aus unlegierten kaltzähnen Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen: — nahtlose Rohre — geschweißte Rohre (E-geschweißt) — geschweißte Rohre (SA-geschweißt)	EN 10216-4 EN 10217-4 EN 10217-6	$T_{\min}^d$	$T_{\min} - 50$	$T_{\min} - 80$
7	Schmiedestücke für Druckanwendungen, Nickelstähle mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen	EN 10222-3	$T_{\min}^d$	$T_{\min} - 50$	$T_{\min} - 80$
8	Formstücke zum Einschweißen, mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen	EN 10253-2	$T_{\min}^d$	$T_{\min} - 50$	$T_{\min} - 80$
9	Nichtrostende austenitische Stähle nach Tabelle 5.1 mit zulässiger Mindesttemperatur –196 °C	EN 10028-7	–196	–255	–270
^a Zusätzliche Anforderungen für Beanspruchungsgrade geringer als 1,0 siehe 5.2.2. ^b Nur beruhigte Stähle. ^c Für Werkstoffe, die für die Verwendung bei –20 °C geeignet sind, siehe die Temperaturen unter lfd. Nummer 3. ^d Tiefste Temperatur des betreffenden Werkstoffes nach den angegebenen Normen.					

6 Konstruktion

6.1 Allgemeines

6.1.1 Symbole und allgemeine Faktoren

6.1.1.1 Symbole

Es gelten die folgenden in Tabelle 6.1.1.1 aufgeführten Symbole.

Tabelle 6.1.1.1 — Symbole

Symbol	Beschreibung	Einheit
A	Bruchdehnung nach EN 10002-1	%
A_c	Materialquerschnitt einer Welle, siehe Gleichung (6.1.1.2.1-1)	mm ²
A_e	Wirksamer Querschnitt des Balges, siehe Gleichung (6.1.1.2.1-2)	mm ²
A_f	Querschnitt der Verschraubung eines Verstärkungs- oder Ausgleichsringes (siehe Bild 6.2.4.1-1)	mm ²
A_r	Querschnitt eines Verstärkungs- oder Ausgleichsringes des Balges (siehe Bild 6.2.4.1-1)	mm ²
a	Faktor für die Berechnung der effektiven Federrate (siehe Tabelle 6.2.9.2)	—
$\overline{A_1}$ gestrichener Text $\overline{A_1}$		
b	Faktor für die Berechnung der effektiven Federrate (siehe Tabelle 6.2.9.2)	—
b_n	Nennbreite des Materials (Band, Blech, Platte) (siehe Tabelle 7.5.2.1.1-1)	—
C_1, C_2	Faktoren zur Bestimmung der Koeffizienten C_p, C_f, C_d , siehe Gleichungen (6.1.1.2.1-3 und 6.1.1.2.1-4)	—
C_p, C_f, C_d	Koeffizienten für U-förmige Wellen (siehe Bilder 6.1.1.2.2-1, -2 und -3)	—
$\hat{c}$	Vergrößerungsfaktor für Bälge mit angularer Bewegung unter Druck (siehe 6.2.8.4)	—
c_σ	Korrekturfaktor für die Spannung, siehe Gleichung (6.2.8.4.4-1)	—
$\overline{A_1} c_w$	Spannungskorrekturfaktor für Bälge mit Umfangsnähten; siehe Gleichung (6.2.3.7.5-2)	— $\overline{A_1}$
D	Außendurchmesser des Rohrquerschnitts $\overline{A_1}$ gestrichener Text $\overline{A_1}$	mm
D_c	Mittlerer Durchmesser des Bordrings am Endbord, siehe Gleichung (6.1.1.2.1-5)	mm
D_i	Innendurchmesser der Balgwelle und der Endborde (siehe z. B. Bild 6.2.3.1-1)	mm
D_m	Mittlerer Durchmesser der Balgwelle, siehe Gleichung (6.1.1.2.1-6)	mm
d	Innendurchmesser des Rohrquerschnitts $\overline{A_1}$ gestrichener Text $\overline{A_1}$	mm
d_p	Bolzendurchmesser (siehe $\overline{A_1}$ Tabelle 6.3.2.2 $\overline{A_1}$)	mm
d_H	Durchmesser der Gelenklager (Bolzen, Kugelscheibe); siehe 6.2.9.3.2	mm
E_B	Elastizitätsmodul des Balgwerkstoffes bei Auslegungstemperatur	N/mm ² (MPa)
E_c	Elastizitätsmodul des Bordringwerkstoffes bei Auslegungstemperatur	N/mm ² (MPa)
E_f	Elastizitätsmodul des Verschraubungswerkstoffes bei Auslegungstemperatur	N/mm ² (MPa)
E_r	Elastizitätsmodul des Verstärkungsringwerkstoffes bei Auslegungstemperatur	N/mm ² (MPa)
E_0	Elastizitätsmodul des Balgwerkstoffes bei Raumtemperatur	N/mm ² (MPa)
e	Nennwanddicke des Balges, siehe Gleichung (6.1.1.2.1-7)	mm
e_c	Nennstärke des Bordrings am Endbord (siehe Bilder 6.2.3.1-1, 6.2.4.1-1 und 6.1.5.1-1)	mm

Tabelle 6.1.1.1 (fortgesetzt)

Symbol	Beschreibung	Einheit
e_p	Nennwanddicke einer Balglage (Lagendicke)	mm
e^*	Wanddicke des Balges, korrigiert um die Dickenabnahme durch Umformung (effektive Lagendicke), siehe Gleichung (6.1.1.2.1-8)	mm
e_p^*	Wanddicke einer Balglage, korrigiert um die Dickenabnahme durch Umformung, siehe Gleichung (6.1.1.2.1-9)	mm
F_{alw}	Zulässige Zugkraft für die Zuglaschen im gebohrten Querschnitt (siehe A1 Tabelle 6.3.4.3-1 A1)	N
F_p	Kraft durch Druckeinwirkung (axiale Druckkraft), siehe Gleichung (6.1.1.2.1-10)	N
F_w	Verstellkraft des Balges (siehe 6.2.9.3)	N
f	Zulässige allgemeine Membranspannung bei Auslegungstemperatur (siehe Tabelle 6.1.2.3)	N/mm ² (MPa)
A1 f_{20}	Zulässige allgemeine Membranspannung bei Umgebungstemperatur	MPa A1
f_T	Zulässige allgemeine Membranspannung bei Prüfbedingungen (siehe Tabelle 6.1.2.3)	N/mm ² (MPa)
A1 f_y	Bogenhöhe in Bezug zur lateralen Bewegung; siehe Gleichung (D.3-3)	mm A1
A1 gestrichener Text A1		
H	Breite der Zuglasche am gebohrten Querschnitt (siehe A1 Tabelle 6.3.2.2 A1)	mm
K_B	Axial-Federrate eines Balges, siehe Gleichungen (6.2.3.8-1), (6.2.4.6-1) und (6.2.5.7-1)	N/mm
K_d	Verfestigungsfaktor bei Kaltumformung, siehe Gleichung (6.2.3.3-1)	—
K_F	Reibungsfaktor zur Berechnung der durch Reibung in den Verankerungen wirkenden Kräfte oder Momente (siehe 6.2.9.3)	mm ² oder mm ³
$\tilde{K}$	Effektive Federrate eines Balges (siehe 6.2.9.3)	N/mm
K_P	Druckfaktor zur Bestimmung der Kräfte oder Momente aus Druckeinfluss bei Bälgen unter angularer oder lateraler Bewegung (siehe 6.2.9.3.2 und 6.2.9.3.3)	mm oder mm ² oder mm ³ /Radiant
K_w	Verstellrate eines Balges (siehe 6.2.9.3)	N/mm
K_β	Faktor für den Einfluss des Flankeneigung auf Kräfte und Momente (siehe 6.2.9.3)	N/mm ² oder Nmm/Radiant ²
K_μ	Faktor für den Einfluss Lagenreibung auf Kräfte und Momente (siehe 6.2.9.3)	mm ² oder mm ³
$K_{m,b}, K_{0,l}$	Faktoren für die Welleninstabilität, siehe Gleichungen (6.2.3.3-2 und 6.2.3.3-3)	—
k	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der mittragenden Wirkung von Anschlussnaht und Endwelle auf die Druckfestigkeit des Endbordes, siehe Gleichung (6.2.3.3-4)	—
$k_{p,t}$	Abminderungsfaktor für den Druck bei Temperatur t (siehe 6.1.2.2)	—
k_s	Stabilisierungsfaktor zur Bestimmung der Säuleninstabilität, siehe Gleichung (6.2.3.4.2.1-3)	—
k_1	Faktor für gelegentliche Lasten (siehe 6.3.2.2)	—
k_2	Korrekturfaktor für gebohrte Zuglasche (siehe A1 Tabelle 6.3.4.3-1 A1)	—
A1 gestrichener Text A1		
$k_{\Delta,t}$	Abminderungsfaktor für die Bewegung Δ bei der Temperatur t (6.1.2.2)	—
L	Abstand zwischen Bolzenachse und Ende des Zuglaschenkopfes (siehe A1 Tabelle 6.3.2.2 A1)	mm
L_c	Länge des Bordrings (siehe Bilder 6.2.3.1-1, 6.2.4.1-1 und 6.2.5.1-1)	mm
L_t	Länge des zylindrischen Balgbordes (siehe Bilder 6.2.3.1-1, 6.2.4.1-1 und 6.2.5.1-1)	mm
l_B	Ursprüngliche gewellte Länge eines Balges, siehe Bild (6.2.7.1-1)	mm
$\bar{l}_B$	Angegliche gewellte Länge eines Balges, siehe Gleichung (6.2.3.4.2.1-2)	mm

Tabelle 6.1.1.1 (fortgesetzt)

Symbol	Beschreibung	Einheit
l^*	Balgmittenabstand bei einem Doppelbalg, siehe Bild (6.2.7.3-2)	mm
M_W	Verstellmoment des Balges (siehe 6.2.9.3)	Nmm
M_y	Moment aus lateraler Bewegung (siehe 6.2.7)	Nmm
M_Θ	Moment aus angularer Bewegung (siehe 6.2.7)	Nmm
N	Anzahl der Wellen eines Balges	—
N_{alw}	Zulässige Lastspielzahl	—
N_{spe}	Spezifizierte Lastspielzahl	—
n	Exponent für die Berechnung der effektiven Federrate, siehe Tabelle 6.2.9.2	—
n_p	Anzahl der Lagen	—
n_B	A1 Anzahl der Bälge (für Universal-Kompensatoren, üblich $n_B = 2$) A1	—
p^a	Berechnungsdruck	N/mm ² (MPa)
P_m	Primäre Membranspannung (siehe A1 Tabelle 6.3.2.2 A1)	N/mm ² (MPa)
P_L	Örtliche primäre Membranspannung (siehe A1 Tabelle 6.3.2.2 A1)	N/mm ² (MPa)
P_b	Primäre Biegespannung (siehe A1 Tabelle 6.3.2.2 A1)	N/mm ² (MPa)
PS^a	Maximal zulässiger Druck	N/mm ² (MPa)
P_{sc}	Auslegungsgrenzwert für den Innendruck aufgrund von Säuleninstabilität	N/mm ² (MPa)
P_{si}	Auslegungsgrenzwert für den Druck aufgrund von Welleninstabilität und lokaler Plastifizierung	N/mm ² (MPa)
PT	Prüfdruck	bar
$P_{t, \max}^a$	Maximal zulässiger Druck bei Temperatur t	bar
q	Länge einer Balgwelle (Wellenlänge) (siehe Bilder 6.2.3.1-1, 6.2.4.1-1 und 6.2.5.1-1)	mm
R_e^*	Effektive Streckgrenze von Balgwerkstoffen im umgeformten oder im geglähten Zustand bei Auslegungstemperatur (sofern nicht anders festgelegt), siehe Gleichungen (6.2.3.3-5a und 6.2.3.3-5b)	N/mm ² (MPa)
$R_{eH, t}$	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)
$R_{p0, t}$	Maximale elastische Zugspannung bei Auslegungstemperatur (siehe Tabelle 6.2.9.2)	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_i	Innenradius der Innen- und Außenkrepfen U-förmiger Wellen, siehe Gleichung (6.1.1.2.1-11) und Bilder 6.2.3.1-1 und 6.2.4.1-1	mm
r_m	Mittlerer Radius der Innen- und Außenkrepfen von U-förmigen Wellen, siehe Gleichung (6.1.1.2.1-12)	mm
S	Gleitmodul, siehe Gleichung (6.2.10-3)	N/mm ² (MPa)
S_L	Dicke der Zuglasche am gebohrten Querschnitt (siehe A1 Tabelle 6.3.2.2 A1)	mm
s_Θ	Umfangskomponente des Umformgrads, siehe Gleichungen (6.2.2.5-2, 6.2.2.5-3) und (6.2.5.2-2, 6.2.5.2-4)	—
s_b	Biegekomponente des Umformgrads, siehe Gleichungen (6.2.2.5-4, 6.2.2.5-5) und (6.2.5.2-3, 6.2.5.2-5)	—
s_d	Umformgrad, siehe Gleichung (6.2.2.5-1)	—
s_r	Umformgrad bei Bruch, siehe Gleichung (7.4.1.2-1)	—
t	Auslegungstemperatur der Verankerungsteile (siehe 6.3. 3.1)	°C
A1 gestrichener Text A1		

Tabelle 6.1.1.1 (fortgesetzt)

Symbol	Beschreibung	Einheit
t_n	Nennstärke des Materials (Band, Blech, Platte), siehe Tabelle 7.5.2.1.1-1	mm
w	Wellenhöhe, siehe z. B. Bilder 6.2.3.1-1 und 6.2.4.1-1	mm
x	Aufgebrachte axiale Bewegung aus der neutralen Stellung (siehe 6.2.7)	mm
x^*	Bezogene axiale Bewegung, siehe Gleichung (6.2.9.3.1-2)	—
x_{el}	Maximale axiale Bewegung im Elastizitätsbereich, siehe Gleichung (6.2.9.3.1-2)	mm
$\bar{x}$	Mittlere axiale Bewegung, siehe Gleichung (6.2.9.3.1-2)	mm
y	Aufgebrachte laterale Bewegung (siehe 6.2.7)	mm
y^*	Bezogene laterale Bewegung (siehe 6.2.9.3.2.2-2)	—
y_{el}	Maximale laterale Bewegung im Elastizitätsbereich, siehe Gleichung (6.2.9.3.2.2-2)	mm
$\bar{y}$	Mittlere laterale Bewegung, siehe Gleichung (6.2.9.3.2.1-2)	mm
z	Schweißnahtfaktor (siehe $\overline{A_1}$ Tabellen 6.3.2.2 $\overline{A_1}$, 6.3.4.7 und 8.4.4)	—
α	Spannungsfaktor für Welleninstabilität, siehe Gleichung (6.2.3.3-6)	—
β	Flankenwinkel; Indices bezeichnen Ausgangsstellung „0“ und gestreckte Stellung „e“ (siehe Bild 6.2.3.2-1 bzw. die Gleichungen (6.2.3.2-3), (6.2.4.2-3) und (6.2.8.2-4c))	Grad
δ	Spannungsverhältnis für Welleninstabilität, siehe Gleichung (6.2.3.3-7)	—
η	Einflussfaktor des Umformprozesses, siehe Gleichung (6.2.2.5-8)	—
κ	Berechnungsfaktor, siehe Gleichung (6.1.1.2.1-13)	1/mm
μ	Reibungskoeffizienten (siehe 6.2.9.3)	—
ν_B	Poisson'sche Zahl (Querkontraktion) für den Balgwerkstoff (für nichtrostenden Stahl $\nu = 0,3$)	—
θ	Aufgebrachte angulare Bewegung je Einzelbalg (siehe 6.2.7)	Radian
θ^*	Bezogene angulare Bewegung, siehe Gleichung (6.2.9.3.3-2)	—
θ_{el}	Maximale angulare Bewegung im Elastizitätsbereich, siehe Gleichung (6.2.9.3.3-2)	Radian
$\bar{\theta}$	Mittlere angulare Bewegung, siehe Gleichung (6.2.9.3.3-2)	Radian
Δq	Äquivalente axiale Bewegung je Balgwelle (siehe 6.2.7)	mm
Δ_t	Maximal zulässige Bewegung (axial, lateral oder angular) bei Temperatur t	mm oder Grad
Δ_N	Maximal zulässige Bewegung (axial, lateral oder angular) bei Umgebungstemperatur (20 °C)	mm oder Grad
$\sigma(P)$	Spannung in Abhängigkeit von P	N/mm ² (MPa)
$\sigma(\Delta q)$	Spannung in Abhängigkeit von Δq	N/mm ² (MPa)
σ_{eq}	$\overline{A_1}$ Gesamte äquivalente Spannungsschwingbreite bei zyklischen Bewegungen $\overline{A_1}$	N/mm ² (MPa)
Indizes: 0 ursprüngliche (Stellung) B Balg H Gelenk P Bolzen T Prüfbedingungen b Biegung c Bordring, Welle $\overline{A_1}$, Stauchung $\overline{A_1}$ d Verformung (Bewegung) $\overline{A_1}$ e Streckung $\overline{A_1}$ el elastisch f Verschraubung h Verankerungsteile i innen, innere m Membran oder meridionale oder mittlere o außen, äußere p Lagen r ringverstärkter Balg t Endbord oder Torsion oder torusförmig. oder Temperatur Δ Differenz Θ in Umfangsrichtung Σ Summe μ Reibung		
a Alle Drücke für Berechnungen sind in N/mm ² (MPa) und $p_{t, max}$ ist in bar angegeben.		

6.1.1.2 Allgemeine Faktoren und Koeffizienten

6.1.1.2.1 Allgemeine Faktoren

Die folgenden allgemeinen Faktoren gelten für die Berechnungen in diesem Unterabschnitt.

$$A_c = 2 \cdot e^* [w + r_m \cdot (\pi - 2)] \quad (6.1.1.2.1-1)$$

$$A_e = \frac{\pi}{4} \cdot D_m^2 \quad (6.1.1.2.1-2)$$

$$C_1 = \frac{2 \cdot r_m}{w} \quad (6.1.1.2.1-3)$$

$$C_2 = \frac{2r_m}{1,1\sqrt{D_m \cdot e_p^*}} \quad (6.1.1.2.1-4)$$

$$D_c = D_i + 2 \cdot e + e_c \quad (6.1.1.2.1-5)$$

$$D_m = D_i + e + w \quad (6.1.1.2.1-6)$$

$$e = n_p \cdot e_p \quad (6.1.1.2.1-7)$$

$$e^* = n_p \cdot e_p^* \quad (6.1.1.2.1-8)$$

$$e_p^* = e_p \cdot \left[(1 - \eta) \cdot \left(1 + \frac{(1 - \eta) \cdot w}{D_i} \right)^{-\frac{1}{2}} + \eta \cdot \left(1 + \frac{\eta \cdot w}{D_i} \right)^{-\frac{2}{3}} \right] \quad (6.1.1.2.1-9)$$

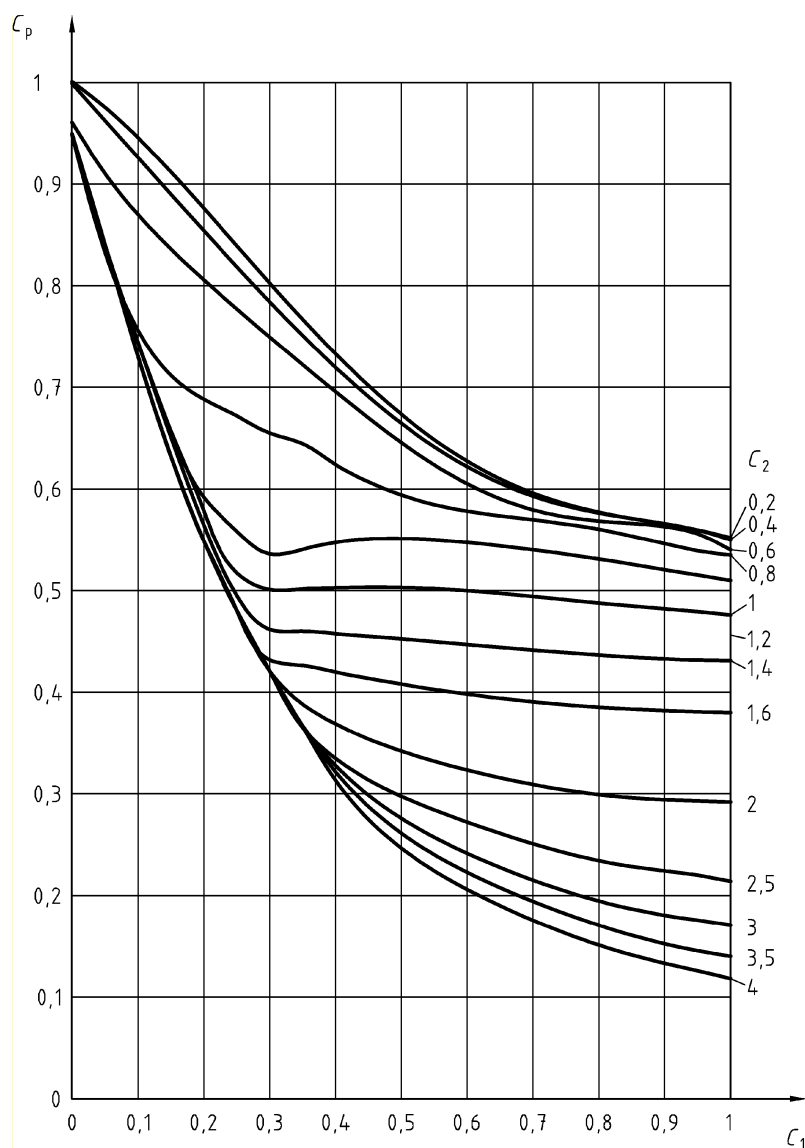
$$F_p = P \cdot A_e \quad (6.1.1.2.1-10)$$

$$r_i = (r_{ic} + r_{ir}) / 2 \quad (6.1.1.2.1-11)$$

$$r_m = r_i + e/2 \quad (6.1.1.2.1-12)$$

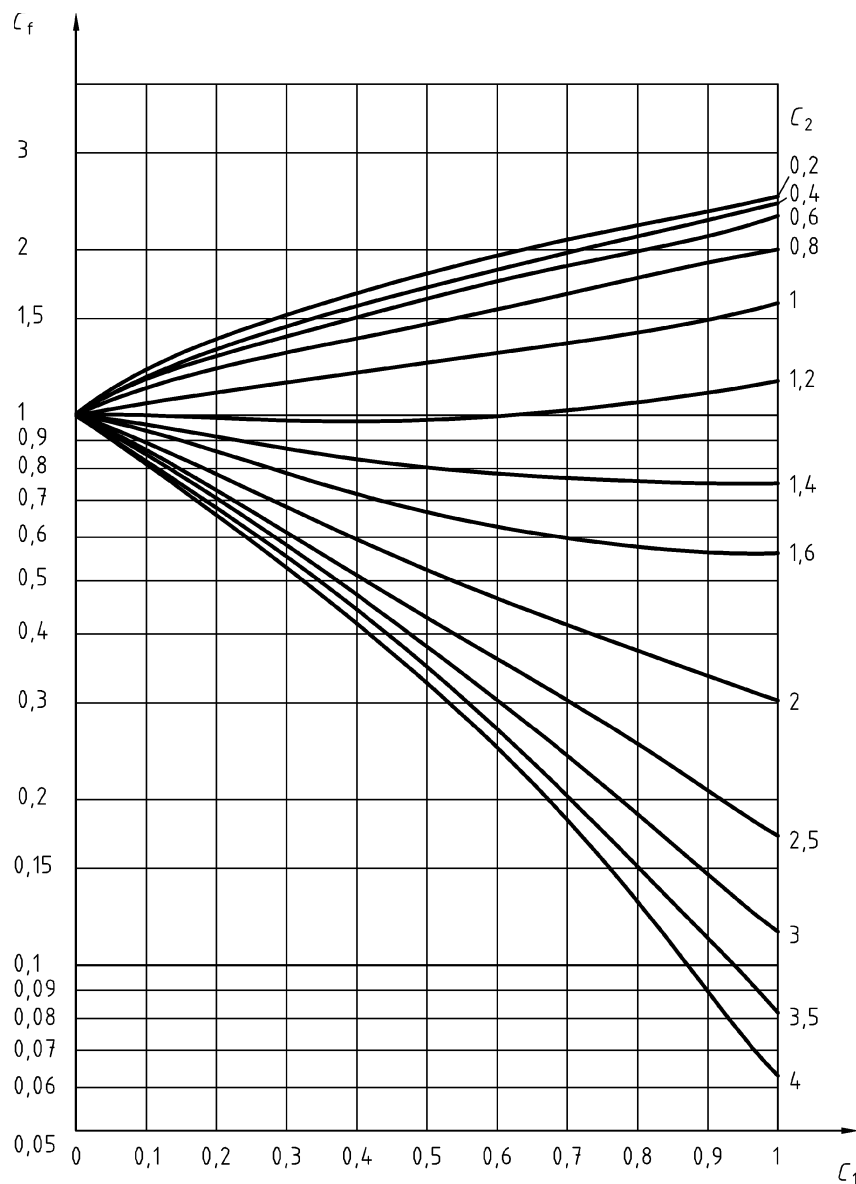
$$\kappa = \sqrt{2 \cdot \pi \cdot \frac{P}{K_B \cdot l_B}} \quad (6.1.1.2.1-13)$$

6.1.1.2.2 Koeffizienten C_p , C_f , C_d



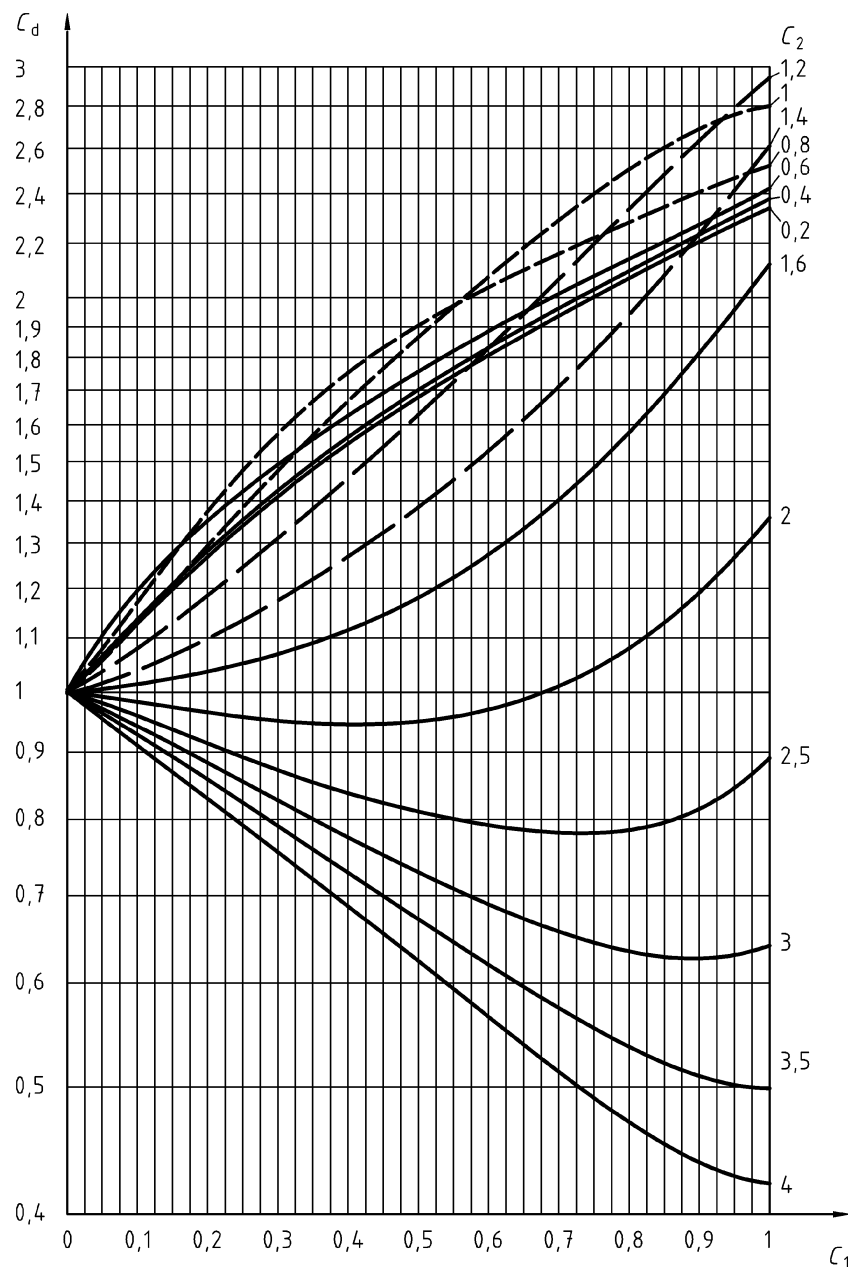
ANMERKUNG Anhang G enthält polynomische Näherungen für diese Kurven.

Bild 6.1.1.2.2-1 — Koeffizient C_p



ANMERKUNG Anhang G enthält polynomische Näherungen für diese Kurven.

Bild 6.1.1.2.2-2 — Koeffizient C_f



ANMERKUNG Anhang G enthält polynomische Näherungen für diese Kurven.

Bild 6.1.1.2.2-3 — Koeffizient C_d $\left[\frac{A_1}{A_2} \right]$

6.1.2 Grundlegende Auslegungskriterien

6.1.2.1 Allgemeine Auslegung

6.1.2.1.1 Allgemeines

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

Die nach 6.1.3 festgelegten zusätzlichen Lasten sind ebenfalls zu berücksichtigen.

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

6.1.2.1.2 Bälge

Die Bälge müssen nach 6.2 ausgelegt sein.

6.1.2.1.3 Flansche

Die Flansche müssen nach EN 1092-1 ausgelegt sein.

6.1.2.1.4 Rohrabschnitte

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

6.1.2.1.5 Leitrohre

Leitrohre müssen nach 6.4 ausgelegt sein.

6.1.2.1.6 Verankerungen

Verankerungen müssen nach 6.3 ausgelegt sein.

6.1.2.2 Auslegung nach PN

Nach PN ausgelegte Kompensatoren dürfen für Temperaturen über 20 °C ausgeführt werden. In diesen Fällen sind die Abminderungsfaktoren des Herstellers für Druck $k_{p,t}$ und Bewegung $k_{\Delta,t}$ auf der Grundlage der betreffenden Werkstoffnormen nach folgenden Gleichungen anzuwenden:

$$P_{t, \max} = PN \cdot k_{p, t} \quad (6.1.2.2-1)$$

$$\Delta_{t, \max} = \Delta_N \cdot k_{\Delta, t} \quad (6.1.2.2-2)$$

6.1.2.3 Zulässige Spannungen

Die maximal zulässigen Spannungen für drucktragende Hauptteile sowie für andere drucktragende Teile außer Schrauben (allgemeine Membranspannung für überwiegend statische Lasten) sind nach Tabelle 6.1.2.3 zu ermitteln.

Tabelle 6.1.2.3 — Zulässige Spannungen

Werkstoff	Auslegungsbedingungen ^a	Prüfbedingungen ^a
Austenitischer Stahl und Nickellegierungen		
— allgemein	$f = \left(\frac{R_{p1,0,t}}{1,5} \right)$	$f_T = \left(\frac{R_{p1,0,tT}}{1,05} \right)$
— alternativ ^b , wenn $A > 35 \%$	$f = \min \left(\frac{R_{p1,0,t}}{1,2}; \frac{R_{m,t}}{3} \right)$	$f_T = \max \left(\frac{R_{p1,0,tT}}{1,05}; \frac{R_{m,tT}}{2} \right)$
Ferritischer Stahl^c einschließlich normalgeglühter (normalisierend gewalzter) Stahl	$f = \min \left(\frac{R_{p0,2,t}}{1,5}; \frac{R_{m,20}}{2,4} \right)$	$f_T = \left(\frac{R_{p0,2,tT}}{1,05} \right)$
^a Die Dehngrenze $R_{p0,2}$ kann durch die Streckgrenze R_{eH} ersetzt werden. ^b Darf nicht für die Auslegung von Bälgen verwendet werden. ^c Feinkornstahl und speziell wärmebehandelter Stahl, unlegierter und niedrig legierter Stahlguss sind ausgeschlossen.		

6.1.3 Zusätzliche Lasten

Zusätzliche Lasten (ständig oder gelegentlich auftretend) sind vom Gerätehersteller anzugeben.

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 berücksichtigt werden.

Innerhalb des Kompensators auftretende 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.

Äußere 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.

Diese Aufzählung enthält nicht alle möglichen Belastungen.

Äußere Belastungen/Lasten (ständig oder gelegentlich auftretend) sind vom Hersteller der Rohrleitung oder des Druckbehälters anzugeben.

6.2 Bälge

6.2.1 Zweck

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

Die Bälge bestehen aus einer oder mehreren Wellen in den folgenden drei Ausführungen:

- a) unverstärkte Bälge mit U-Profil, wie in Bild 6.2.3-1 gezeigt;
- b) ringverstärkte Bälge mit U-Profil, wie in Bild 6.2.4-1 gezeigt;
- c) Torusbälge, wie in Bild 6.2.5-1 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 Balggeometrie

- a) Ein Balg umfasst eine oder mehrere identische Wellen. Jede Welle ist rotationssymmetrisch.
- b) Jede Welle kann aus einer oder mehreren Lagen mit gleicher Dicke und aus gleichem Werkstoff bestehen.
- c)  gestrichener Text 
- d) Für die Anzahl der Lagen gilt:

$$n_p \leq 5$$

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.

Zur Berücksichtigung von Außendruckbelastung (siehe 6.2.3.5) und von Torsionsbeanspruchung des Balges (siehe 6.2.10) gelten gesonderte Bedingungen.

Zusätzliche Lasten nach 6.1.3 sind, soweit zutreffend, gesondert zu beachten.

6.2.2.3 Temperatur

Diese Anforderungen gelten nur für Temperaturen unterhalb des Zeitstandbereiches (Kriechen), 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 sind in Bild 8.4.3.1-1a und Bild 8.4.3.1-1b dargestellt.

6.2.2.4.2 Stumpfgeschweißte Längsnähte W1 und W2

Bälge können eine oder mehrere stumpfgeschweißte Längsnähte aufweisen.

- a) Bälge mit Umfangsnähten (siehe 6.2.3.7): der Schweißnahtfaktor z ist für stumpfgeschweißte Längsnähte W1 anzusetzen;
- b) Bälge ohne Umfangsnähte: ein Schweißnahtfaktor z ist für stumpfgeschweißte Längsnähte W2 nicht anzusetzen.

6.2.2.4.3 Stumpfgeschweißte Umfangsnähte W3

Bei Bälgen mit Umfangsnähten (siehe 6.2.3.7) und für stumpfgeschweißten Anschlussnähte, wie in Tabelle 6.2.2.4.4-1, Nr. 3.0 dargestellt, ist der Schweißnahtfaktor z für die Stumpfnähte W3 anzusetzen.

6.2.2.4.4 Anschlussnähte am Balg

Umfangsgeschweißte Befestigungsnähte an ein- und mehrlagigen Bälgen sind nach den Zeichnungen in Tabelle 6.2.2.4.4-1 auszuführen. Für stumpfgeschweißte Befestigungsnähte nach Tabelle 6.2.2.4.4-1, Nr. 3.0 gilt die Festlegung von 6.2.2.4.3.

Tabelle 6.2.2.4.4-1 — Balg-Anschlussnähte

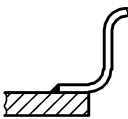
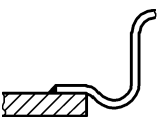
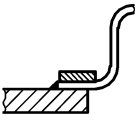
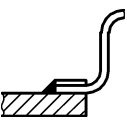
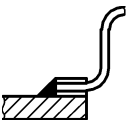
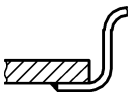
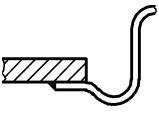
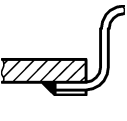
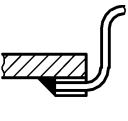
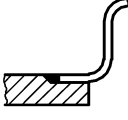
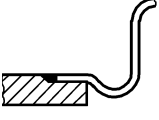
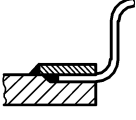
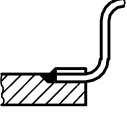
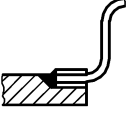
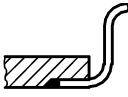
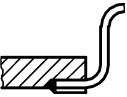
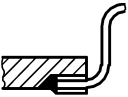
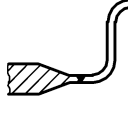
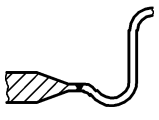
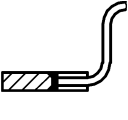
Art der Schweißnaht		Varianten (zulässig sind Kombinationen von A bis D)			
Nr	Grundprinzip der Ausführung	A Überbord	B Bordring	C Schweißring (Hilfsring) Einfach	D Doppelt
1.1	 Überlappnaht außen/Kehlnaht		 b, c		
1.2	 Überlappnaht innen/Kehlnaht				
2.1	 eingelassene Überlappnaht außen/Fugennaht				
2.2	 eingelassene Überlappnaht innen/Fugennaht				
3.0	 Stumpfnaht	 d			

Tabelle 6.2.2.4.4-1 (fortgesetzt)

Art der Schweißnaht		Varianten (zulässig sind Kombinationen von A bis D)			
Nr.	Grundprinzip der Ausführung	A Überbord	B Bordring	C Schweißring (Hilfsring) Einfach	D Doppelt
4.1	 radiale Bördelnaht (innen oder außen)				
4.2	 axiale Bördelnaht (innen oder außen)				
Allgemein gilt: Anschlusssteile 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: $a \geq 0,7 \cdot e$. b Ein Bordring wird empfohlen, wenn das zylindrische Ende des Balges L_t folgenden Wert überschreitet: $\boxed{A_1} \quad L_t \geq 0,5 \cdot \sqrt{D_i \cdot e_p} \quad \boxed{A_1}$ c Der Bordring muss durch Schweißen oder mechanische Mittel axial befestigt werden. d Bei Stumpfnähten sind für das Schweißen von mehrlagigen Bälgen spezielle Werkzeuge erforderlich. e Der Schweißnahtdurchmesser darf den mittleren Balgdurchmesser D_m um nicht mehr als 20 % der Wellenhöhe w überschreiten.					

6.2.2.5 Umformgrad

Der maximale äquivalente Umformgrad für den Balg errechnet sich aus:

$$\boxed{A_1} \quad s_d = \max \left\{ \frac{1,04 \cdot \sqrt{s_{\theta,o}^2 + 0,31 \cdot s_{\theta,o} \cdot s_{b,o} + 0,41 \cdot s_{b,o}^2}}{2,0 \cdot \left| s_{\theta,i} - \frac{1}{3} s_{b,i} \right|} \right\}, \quad \boxed{A_1} \quad (6.2.2.5-1)$$

am Wellenscheitel (Außenkrempe) bzw. am Wellengrund (Innenkrempe) des Balges nach dem Umformen mit den folgenden Komponenten des Umformgrades — wieder in Abhängigkeit von der betrachteten Stelle:

Für die Umfangsrichtung:

$$s_{\theta,o} = \ln \left[(D_i + 2 \cdot w) / (D_i + 2 \cdot \eta \cdot w) \right] \quad (6.2.2.5-2)$$

$$s_{\theta,i} = \ln \left[D_i / (D_i + 2 \cdot \eta \cdot w) \right] \quad (6.2.2.5-3)$$

Für die Biegekomponenten:

$$s_{b,o} = \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{e_{p,o}}{r_{i,c}} \right) \quad (6.2.2.5-4)$$

$$s_{b,i} = \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{e_{p,i}}{r_{i,r}} \right) \quad (6.2.2.5-5)$$

— dabei ergibt sich die Mindestwanddicke aus:

$$e_{p,o} = e_p \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot w}{D_i + 2 \cdot \eta \cdot w} \right)^{-0,75} \quad (6.2.2.5-6)$$

$$e_{p,i} = e_p \cdot \left(\frac{D_i}{D_i + 2 \cdot \eta \cdot w} \right) \quad (6.2.2.5-7)$$

Der Umformfaktor η ist definiert als:

$$\eta = \left(\frac{D_0 - D_i}{2w} \right) \quad (6.2.2.5-8)$$

mit dem neutralen Durchmesser D_0 als dem ursprünglichen Innendurchmesser des Zylinders oder der Kreisringplatte vor Beginn des Umformens. Er ist abhängig vom Umformverfahren; zur Information, siehe nachstehende Tabelle 6.2.2.5-1.

Bei aus Halbwellen hergestellten Bälgen, siehe Bild 6.2.3.7.1-1, kann D_0 aus der bereits umgeformten S-Form der Halbwelle wie folgt berechnet werden:

$$D_0 = D_i + e_p - \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) \cdot (2r_i + e_p) \quad (6.2.2.5-9)$$

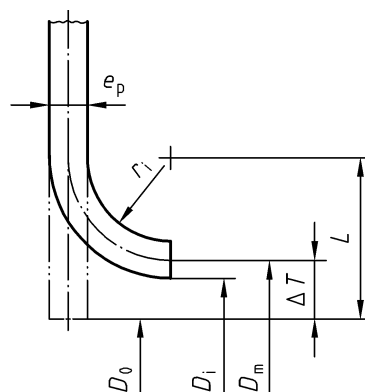


Bild 6.2.2.5-1 — Innenkrempe einer Halbwelle

ANMERKUNG Halbwellen werden aus Kreisringplatten mit einer Mittenbohrung hergestellt, indem deren Außen- und Innenkanten durch Rollbiegen oder andere Verfahren zu einem S-förmigen Profil umgeformt werden, mit dem maximalen Umformgrad an der nach außen umgeformten Innenkrempe.

Tabelle 6.2.2.5-1 — Typische Werte für den Umformfaktor η (informativ)

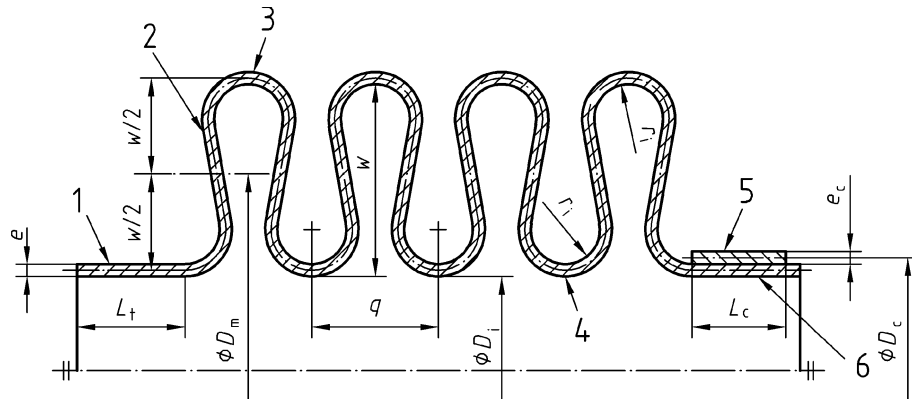
Umformverfahren für Wellen		Umformfaktor η	Bemerkungen
1	Von innen nach außen, mit Stützwerkzeugen, ausgehend vom Innendurchmesser D_i durch: — hydraulisches Umformen (einschließlich Elastomerumformung); — mechanisches Umformen (Aufweiten); — Rollformung.	0	Äußere Stützwerkzeuge, die die Innenkrempe der Wellen zurückhalten.
2	Teilweise nach außen und nach innen, mit Stützwerkzeugen, ausgehend vom neutralen Durchmesser D_0 durch: — Rollformung; — kombiniertes Umformen (hydraulisch, Elastomer-, oder mechanisch mit anschließender Rollformung).	0,4 bis 0,6	Stützwerkzeuge halten den neutralen Durchmesser D_0 in seiner Position
3	Teilweise nach außen und nach innen, ohne Stützwerkzeug (freie Umformung) durch: — Rollformung.	0,5 bis 0,6	Außen- und Innendurchmesser ergeben sich aus Dehnungsgleichgewichten.
4	Von außen nach innen, ohne Stützwerkzeuge (freie Umformung) durch: — Rollformung.	0,6 bis 0,8	Üblicherweise nicht angewandt bei Durchmessern über DN 100.

6.2.3 Unverstärkter Balg mit U-Profil

6.2.3.1 Allgemeines

Dieser Unterabschnitt gilt für zwei Ausführungen von unverstärkten Bälgen mit quasi U-förmigen Wellen, entsprechend den in diesem Unterabschnitt genannten zulässigen Grenzen.

- Bälge, wie in Bild 6.2.3.1-1 dargestellt, werden im Allgemeinen durch ein Umformverfahren (z. B. hydraulisches Umformen, Rollformung) ohne jegliches Umfangsschweißen der Wellen hergestellt. Diese Balgausführung wird in 6.2.3.2 bis 6.2.3.6 und in 6.2.3.8 behandelt.
- Bälge, wie in Bild 6.2.3.7.1-1 dargestellt, sind einlagig, wobei die Wellen an Innen- und Außenkrempe in Umfangsrichtung verschweißt sind. Diese Balgausführung muss die Anforderungen von 6.2.3.2 bis 6.2.3.8 erfüllen.



Legende

- 1 zylindrischer Balgbord ohne Bordring
- 2 Welle
- 3 Außenkrempe
- 4 Innenkrempe
- 5 Bordring
- 6 zylindrischer Balgbord mit Bordring

Bild 6.2.3.1-1 — Unverstärkter Balg mit U-Profil

6.2.3.2 Auslegungsbedingungen

Zusätzlich zu den in 6.2.2 aufgeführten gelten die folgenden Bedingungen:

- a) Der Innenradius r_i von Außen- und Innenkrempe muss im Wesentlichen gleich groß sein.

Eine Abweichung von $\pm 10\%$ zwischen den tatsächlichen Radien an Außenkrempe r_{ic} oder Innenkrempe r_{ir} und dem Mittelwert r_i ist zulässig (siehe Bild 6.2.3.2-1 zu den Definitionen von r_{ic} und r_{ir}).

- b) Für den Krempe radius gilt:

$$r_i \geq 2 \cdot e_p \quad (6.2.3.2-1)$$

- c) Für die Wellenhöhe gilt:

$$\frac{D_1}{3} \geq w \geq 2 \cdot r_m \quad (6.2.3.2-2)$$

- d) Für den Flankenwinkel β_0 in der neutralen Stellung (siehe Bild 6.2.3.2-1) gilt:

$$-15^\circ \leq \beta_0 \leq +15^\circ$$

Dabei ist

$$\beta_0 = \arcsin \left\{ \sqrt{\frac{q}{2 \cdot r_m} - 2 + \left(\frac{w}{2 \cdot r_m} - 1 \right)^2} - \left(\frac{w}{2 \cdot r_m} - 1 \right) \right\} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (6.2.3.2-3)$$

Zusätzlich ist zu prüfen, ob der ursprüngliche Flankenwinkel β_0 durch die vorgesehene Bewegung begrenzt wird, was bei Stauchung zum Blockieren oder bei Streckung zu Faltenbildung führen kann (siehe 6.2.8.2).

e) Die Wellenlänge muss so sein, dass:

$$q > \max \left\{ \begin{array}{l} 2 (r_{ic} + e) \\ 2 (r_{ir} + e) \end{array} \right\}$$

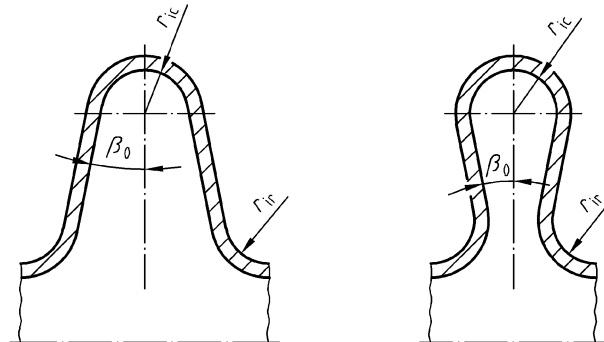


Bild 6.2.3.2-1 — Mögliche Wellenformen in der neutralen Balgstellung

6.2.3.3 Bestimmung zusätzlicher Zwischengrößen

Zusätzlich zu den in 6.1.1.2.1 angegebenen, gelten die folgenden Faktoren.

$$K_d = \begin{cases} 1 + 5 \cdot s_d & \text{wenn } s_d \leq 0,2 \\ 2,0 & \text{wenn } s_d > 0,2 \end{cases} \quad (6.2.3.3-1)$$

ANMERKUNG Die Gleichung (6.2.3.3-1) für K_d gilt nur für austenitische Stähle und andere gleichwertige Werkstoffe. Höhere Werte für K_d sind zulässig, sofern sie durch repräsentative Prüfungen nachgewiesen sind.

$$K_{m,b} = \frac{1}{2 \cdot n_p} \cdot \left(\frac{w}{e_p^*} \right)^2 \cdot C_p \quad (6.2.3.3-2)$$

$$K_{\theta,l} = \frac{q \cdot D_m}{2 \cdot A_c} \quad (6.2.3.3-3)$$

$$k = \min \left[\left(\frac{L_t}{1,5 \cdot \sqrt{D_i \cdot e_p}} \right); (1,0) \right] \quad (6.2.3.3-4)$$

$$R_e^* = K_d \cdot R_{p1,0,t} \quad \text{für Bälge im umgeformten Zustand (mit Kaltverfestigung)} \quad (6.2.3.3-5a)$$

$$R_e^* = 0,75 \cdot R_{p1,0,t} \quad \text{für geglühte Bälge (ohne Kaltverfestigung)} \quad (6.2.3.3-5b)$$

Die Werte für R_e^* dürfen nur für austenitische Stähle und andere gleichwertige Werkstoffe verwendet werden.

Bei Nickellegierungen ist $R_{p1,0,t}$ durch die 0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2,t}$ zu ersetzen, falls $R_{p1,0,t}$ nicht festgelegt ist.

Bei ferritischen Werkstoffen ist R_e^* gleich R_e .

$$\alpha = 1 + 2 \cdot \delta^2 + \sqrt{1 - 2 \cdot \delta^2 + 4 \cdot \delta^4} \quad (6.2.3.3-6)$$

$$\delta = \frac{K_{m,b}}{3 \cdot K_{\theta,l}} \quad (6.2.3.3-7)$$

6.2.3.4 Innendruckfestigkeit

6.2.3.4.1 Begrenzung durch Spannungen

a) Endbord

☞ Der zylindrische Endbord eines druckbeaufschlagten Balgs (siehe Bild 6.2.3.1-1) wird teilweise durch die Anschlussarmatur gestützt, an die er angeschweißt ist.

Wenn die Länge des Balgbords ohne irgendeinen Bordring, jedoch mit einem möglichen zylindrischen Teil von derselben Dicke wie ein Schweißende $\bar{L}_t$ (siehe Tabelle 6.2.2.4.4-1, Nr. 3.0, Grundprinzip der Ausführung) die folgenden Bedingungen erfüllt, ist keine Spannungsberechnung für den Bord erforderlich:

$$\bar{L}_t \leq 0,5 \cdot \sqrt{D_i \cdot e_p}.$$

Ansonsten wird die Umfangsspannung aus Druck wie folgt berechnet:

$$\sigma_{\theta,t}(P) = \frac{(D_i + e)^2 L_t \cdot E_B \cdot k}{2 \cdot [e \cdot (D_i + e) \cdot L_t \cdot E_B + e_c \cdot D_c \cdot L_c \cdot E_c \cdot k]} \cdot P \quad (6.2.3.4.1-1)$$

Sie muss folgende Bedingung erfüllen:

$$\sigma_{\theta,t}(P) \leq f \cdot \text{☞}$$

b) Bordring

Die mittlere Umfangsspannung aus Druck:

$$\sigma_{\theta,c}(P) = \frac{D_c^2 \cdot L_t \cdot E_c \cdot k}{2 \cdot [e \cdot (D_i + e) \cdot L_t \cdot E_B + e_c \cdot D_c \cdot L_c \cdot E_c \cdot k]} \cdot P \quad (6.2.3.4.1-2)$$

muss folgende Bedingung erfüllen:

$$\sigma_{\theta,c}(P) \leq f_c$$

c) Balgwellen

— Endwellen

Die mittlere Umfangsspannung aus Druck:

$$\sigma_{\theta,E}(P) = \frac{1}{2} \cdot \frac{q \cdot D_m + L_t \cdot (D_i + e)}{A_c + e \cdot L_t} \cdot P \quad (6.2.3.4.1-3)$$

muss folgende Bedingung erfüllen:

$$\sigma_{\theta,E}(P) \leq f$$

ANMERKUNG Eine gleichwertige Berechnung, die die zusätzlichen Verstärkungsflächen berücksichtigt, kann Gleichung (6.2.3.4.1-3) ersetzen, die keinerlei Stützwirkung durch den Balganschluss berücksichtigt. **A1**

— Zwischenwellen

Die mittlere Umfangsspannung aus Druck:

$$\sigma_{\theta, l}(P) = \frac{1}{2} \cdot \frac{q \cdot D_m}{A_c} \cdot P \quad (6.2.3.4.1-4)$$

muss folgende Bedingung erfüllen:

$$\sigma_{\theta, l}(P) \leq f$$

Die meridionale Membranspannung aus Druck ergibt sich aus:

$$\sigma_{m, m}(P) = \frac{w}{2 \cdot e^*} \cdot P \quad (6.2.3.4.1-5)$$

Die meridionale Biegespannung aus Druck ergibt sich aus:

$$\sigma_{m, b}(P) = \frac{1}{2 \cdot n_p} \cdot \left(\frac{w}{e_p^*} \right)^2 \cdot C_p \cdot P \quad (6.2.3.4.1-6)$$

Die meridionalen Membran- und Biegespannungen müssen folgende Bedingung erfüllen:

$$\sigma_{m, m}(P) + \sigma_{m, b}(P) \leq K_f \cdot f \quad (6.2.3.4.1-7)$$

Dabei ist

$K_f = 3,0$ für Bälge im umgeformten Zustand (mit Kaltverfestigung);

$K_f = 1,5$ für geglühte Bälge (ohne Kaltverfestigung).

6.2.3.4.2 Begrenzung durch Instabilität

6.2.3.4.2.1 Säuleninstabilität

A1 Zur Vermeidung von Säuleninstabilität müssen die verschiedenen Bauarten von Kompensatoren unter unterschiedlichen Bedingungen betrachtet werden.

a) Axial-Kompensatoren mit einem oder mehreren Bälgen

1) Betriebsbedingungen — Innendruck und Auslegungstemperatur TS

Der begrenzende Innendruck ergibt sich aus:

$$\tilde{P}_{sc, t} = \frac{2\pi}{1,5} \cdot \frac{1}{l_B \cdot n_B^2} \cdot K_{B, t} \cdot c_{dyn, x}, \text{ mit} \quad (6.2.3.4.2.1-1)$$

- i) der resultierenden gewellten Länge eines Balges nach einigen Lastwechseln

$$\bar{l}_B = l_B + 0,5 \cdot (x_1 + x_2) \cdot \frac{1}{n_B}, \quad (6.2.3.4.2.1-2)$$

dabei werden x_1 und x_2 als die ursprünglichen Maximalwerte der axialen Bewegung an den Extrempositionen eines Lastwechsels verstanden mit positivem Vorzeichen und für Streckung und mit negativem Vorzeichen für Stauchung bezogen auf l_B eines einzelnen Balgs (siehe Bild 6.2.3.4.2-1);

- ii) der elastischen Federrate $K_{B,T}$ bei Auslegungstemperatur für einen Balg nach Gleichung (6.2.3.8-1);
iii) dem Dynamikfaktor

$$c_{\text{dyn},x} = \begin{cases} 1 & \text{für } x^* \leq 1 + n_t \\ \frac{a_t \cdot (x^*)^{n_t-1} - b_t \cdot (x^*)^{-3}}{2 - (a_t \cdot (x^*)^{n_t-1} - b_t \cdot (x^*)^{-3})} & \text{für } x^* > 1 + n_t \end{cases} \quad (6.2.3.4.2.1-3)$$

Der maximal zulässige Auslegungsdruck PS darf den begrenzenden Innendruck $\tilde{P}_{sc,t}$ nicht überschreiten:

$$PS \leq \tilde{P}_{sc,t}$$

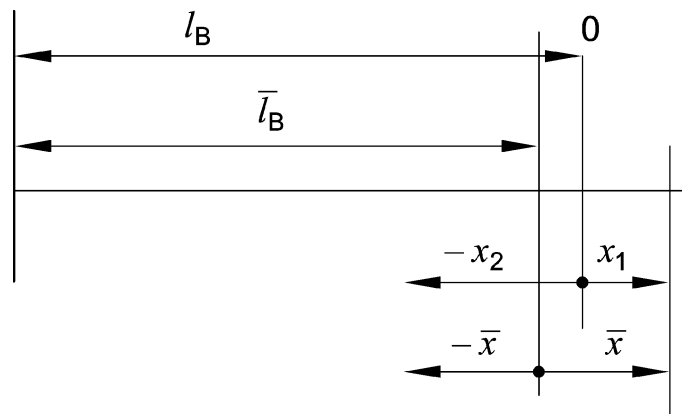


Bild 6.2.3.4.2-1 — Gewellter Teil der Balglänge und axiale Bewegungen, dargestellt für $n_B = 1$

- 2) Prüfbedingungen — Innendruck und Prüftemperatur

Der begrenzende Innendruck ergibt sich aus:

- i) in der Werkstatt, neutrale Balgposition ($x = 0$)

$$P_{sc,T} = \frac{2\pi}{1,5} \cdot \frac{k_s}{l_B \cdot n_B^2} \cdot K_{B,T}, \text{ mit} \quad (6.2.3.4.2.1-4)$$

- einem Stabilisierungsfaktor

$k_s = 0,5$ für nicht stabilisierte Bälge (nach der Umformung);

$k_s = 1,0$ für stabilisierte Bälge, z. B. durch Vorstauchung oder Spannungsarmglühen;

- der elastischen Federrate für einen Balg bei Prüftemperatur $K_{B,T}$ nach Gleichung (6.2.3.8-1);

- ii) vor Ort, nach einigen Lastspielen und Abkühlung mit gestrecktem (+) oder gestauchtem (–) Kompensator in Abhängigkeit von der Art des Einbaus in das Kompensatorsystem

$$P_{sc,T} = \frac{1}{1,5} \cdot \frac{2\pi \cdot K_{B,T}}{\left(\bar{l}_B \pm \frac{\bar{x}}{n_B}\right) \cdot n_B^2} + \frac{4}{\pi \cdot D_m^2} \cdot \frac{K_{wx,T}}{n_B} \cdot (\pm \bar{x}), \quad \text{mit} \quad (6.2.3.4.2.1-5)$$

- der mittleren axialen Bewegung des Kompensators (siehe Bild 6.2.3.4.2-1)

$$\bar{x} = 0,5 \cdot |x_1 - x_2| \quad (6.2.3.4.2.1-6)$$

- der elastischen Federrate für einen Balg bei Prüftemperatur $K_{B,T}$ nach Gleichung (6.2.3.8-1);
 — der Verstellrate für einen Balg bei Prüftemperatur $K_{wx,T}$ nach Gleichung (6.2.9.3.1-6).

Der Prüfdruck PT darf den begrenzenden Innendruck $P_{sc,T}$ nicht überschreiten:

$$PT \leq P_{sc,T}.$$

3) Betriebsbedingungen — Außendruck und Auslegungstemperatur TS

Die durch die axiale Stauchung der Bälge erzeugte axiale Kraft kann zu Säuleninstabilität führen, auch wenn die Bälge nicht mit Innendruck beaufschlagt sind.

Die zulässige axiale Kraft aus Stauchung, die bei gleichzeitig auf die Bälge einwirkendem Außendruck höher wird, ergibt sich aus:

$$F_{sc,t} = \frac{1}{1,5} \cdot \frac{2 \cdot \pi^2}{\bar{l}_B \cdot n_B^2} \cdot \frac{D_m^2}{4} \cdot K_{B,t} \cdot c_{dyn,x} + \pi \cdot \frac{D_m^2}{4} \cdot | -PS |. \quad (6.2.3.4.2.1-7)$$

Die maximale Kraft aus axialer Bewegung darf die zulässige Kraft nicht überschreiten:

$$K_{wx,t} \cdot \left| -\frac{\bar{x}}{n_B} \right| \leq F_{sc,t}$$

4) Prüfbedingungen — Außendruck und Prüftemperatur

Die begrenzende Axialkraft aus Stauchung bei Prüfung am Einsatzort ergibt sich aus:

$$F_{sc,T} = \frac{1}{1,5} \cdot \frac{2 \cdot \pi^2}{\left(\bar{l}_B - \frac{\bar{x}}{n_B}\right) \cdot n_B^2} \cdot \frac{D_m^2}{4} \cdot K_{B,T} + \pi \cdot \frac{D_m^2}{4} \cdot | -PT | \quad (6.2.3.4.2.1-8)$$

Die maximale Kraft aus axialer Bewegung darf die begrenzende Kraft nicht überschreiten:

$$K_{wx,T} \cdot \left| -\frac{\bar{x}}{n_B} \right| \leq F_{sc,T}$$

b) Angular- und Lateral-Kompensatoren mit einem oder mehreren Bälgen

1) Betriebsbedingungen — begrenzender Innendruck und Auslegungstemperatur TS

Der begrenzende Innendruck ergibt sich aus:

$$P_{sc,t} = \frac{1}{1,5} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{l_B \cdot n_B^2} \cdot K_{B,t} \cdot c_{dyn,\Delta} \cdot (1 - \nu^2), \text{ mit} \quad (6.2.3.4.2.1-9)$$

- i) der elastischen Federrate für einen Balg bei Auslegungstemperatur $K_{B,t}$
- ii) dem Dynamikfaktor bei Auslegungstemperatur

$$c_{dyn,\Delta} = \begin{cases} c_{dyn,y} & \text{für lateral bewegte Bälge} \\ c_{dyn,\Theta} & \text{für angular bewegte Bälge} \end{cases}$$

Dabei ist

$$c_{dyn,y} = \begin{cases} 1 & \text{für } y^* \leq 1 + n_t \\ \frac{a_t \cdot (y^*)^{n_t-1} - b_t \cdot (x^*)^{-3}}{2 - (a_t \cdot (y^*)^{n_t-1} - b_t \cdot (y^*)^{-3})} & \text{für } y^* > 1 + n_t \end{cases} \quad (6.2.3.4.2.1-10a)$$

und

$$c_{dyn,\Theta} = \begin{cases} 1 & \text{für } \Theta^* \leq 1 + n_t \\ \frac{a_t \cdot (\Theta^*)^{n_t-1} - b_t \cdot (\Theta^*)^{-3}}{2 - (a_t \cdot (\Theta^*)^{n_t-1} - b_t \cdot (\Theta^*)^{-3})} & \text{für } \Theta^* > 1 + n_t \end{cases} \quad (6.2.3.4.2.1-10b)$$

Der maximal zulässige Auslegungsdruck PS darf den begrenzenden Innendruck $P_{sc,t}$ nicht überschreiten:

$$PS \leq P_{sc,t}$$

2) Prüfbedingungen — Innendruck und Prüftemperatur

Der begrenzende Innendruck ergibt sich aus:

- i) in der Werkstatt oder vor Ort in gerader Stellung

$$P_{sc,T} = \frac{2\pi}{1,5} \cdot \frac{k_s}{l_B \cdot n_B^2} \cdot K_{B,T}, \text{ mit} \quad (6.2.3.4.2.1-11)$$

- dem vorstehend festgelegten Stabilisierungsfaktor k_s ;
- der elastischen Federrate bei Prüftemperatur $K_{B,T}$ für einen Balg nach Gleichung (6.2.3.8-1).

- ii) vor Ort, nach einigen Lastspielen und Abkühlung mit angular bewegten oder lateral bewegten Bälgen entsprechend der Art des Einbaus in das Kompensatorensystem

$$P_{sc,T} = \frac{2\pi}{1,5} \cdot \frac{k_s}{l_B \cdot n_B^2} \cdot K_{B,T} \cdot (1 - \nu^2) \quad (6.2.3.4.2.1-12)$$

Der Prüfdruck PT darf den begrenzenden Innendruck $P_{sc,T}$ nicht überschreiten:

$$PT \leq P_{sc,T} \cdot \sqrt{A_1}$$

6.2.3.4.2.2 Welleninstabilität

Der zulässige Innendruck zur Vermeidung von Welleninstabilität ergibt sich aus:

$$P_{si} = \frac{0,57 \cdot R_e^*}{K_{\Theta,1} \cdot \sqrt{\alpha}} \quad (6.2.3.4.2.2-1)$$

Der Innendruck darf P_{si} nicht überschreiten:

$$P \leq P_{si}$$

Der zulässige Prüfdruck zur Vermeidung von Welleninstabilität ergibt sich aus:

$$P_{si,T} = 1,35 \cdot P_{si,20} \quad (6.2.3.4.2.2-2)$$

Der Prüfdruck PT darf $P_{si,T}$ nicht überschreiten:

$$PT \leq P_{si,T}$$

6.2.3.5 Außendruckfestigkeit, einschließlich Vakuum

6.2.3.5.1 Allgemeines

[A1] Es gelten die Begrenzungen nach 6.2.3.4 entsprechend, wobei P mit einem positiven Vorzeichen als maximale Differenz zwischen Außen- und Innendruck angenommen wird. **[A1]**

Wird ein Balg unter Betriebsbedingungen auch bei Vakuum betrieben, muss die Auslegung für diese Bedingung unter der Annahme erfolgen, dass nur die Innenlage den Druck hält. Die Gleichungen für die Druckspannung nach 6.2.3.4 sind folglich mit $n_p = 1$ anzuwenden.

ANMERKUNG Die Berechnungen können entsprechend bei Bälgen angewandt werden, die nur bei Vakuum betrieben werden, obwohl diese nicht in den Anwendungsbereich dieser Europäischen Norm fallen.

6.2.3.5.2 Instabilität aufgrund von Außendruck

Die Auslegung erfolgt nach den Auslegungsregeln für Außendruck, indem der Balg durch einen äquivalenten Zylinder ersetzt wird.

Die Maße des äquivalenten Zylinders sind wie folgt festzulegen:

— die äquivalente Wanddicke e_{eq} errechnet sich aus:

$$e_{eq} = \sqrt[3]{12(1-\nu^2) \cdot \frac{I_{xx}}{q}} \quad (6.2.3.5.2-1)$$

mit dem Trägheitsmoment des Wellenprofils I_{xx} :

$$I_{xx} = e^* \cdot \left[\frac{(2 \cdot w - q)^3}{48} + 0,4 \cdot q \cdot (w - 0,2 \cdot q)^2 \right] \quad (6.2.3.5.2-2)$$

— der äquivalente mittlere Durchmesser errechnet sich zu:

$$D_{eq} = D_i + w + 2 \cdot e_{eq} \quad (6.2.3.5.2-3)$$