



pro-K Fluoropolymergroup

Technisches Merkblatt 09
PTFE-Kompensatoren

Vorwort

Kompensatoren aus dem Balgwerkstoff Polytetrafluorethylen (PTFE) werden aufgrund ihrer herausragenden Eigenschaften vor allem bei kritischen Medien und erhöhten Temperaturen eingesetzt. Die konstruktiven Ausführungen als auch die Betriebsparameter unterliegen jedoch sehr großen Unterschieden. Insbesondere betrifft dies Angaben wie Baulänge, Flanschausführung, Stützringdurchmesser, Hubbereiche, Führungselemente, Mindestwanddicken des PTFE Balges sowie Betriebskenngrößen, wie Mindestanforderungen an die Druck- und Vakuumbelastbarkeit.

Dieses Technische Merkblatt informiert über die Vereinheitlichung von Konstruktions- und Belastungsanforderungen und liefert damit qualitative Maßstäbe zur Erhöhung der Betriebssicherheit und Korrektur von Bemessungsfehlern. Das Merkblatt beschränkt sich auf Kompensatoren deren Balg aus pastenextrudiertem, gesintertem PTFE bestehen und beinhaltet die Empfehlungen der Interessengemeinschaft Regelwerke (IGR) aus der Guideline Technik 12-0040.

Das Technische Merkblatt wird von der pro-K Fluoropolymergroup herausgegeben und wurde von Fa. SGL Group / Dr. Schnabel GmbH fachlich ausgearbeitet.

Bildnachweis (Vorderseite): © SGL Group / Dr. Schnabel GmbH

Wichtiger Hinweis:

Diese Ausarbeitung dient lediglich Informationszwecken. Die in dieser Ausarbeitung enthaltenen Informationen wurden nach derzeitigem Kenntnisstand und nach bestem Gewissen zusammengestellt. Der Autor und pro-K übernehmen jedoch keine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Informationen. Jeder Leser muss sich daher selbst vergewissern, ob die Informationen für seine Zwecke zutreffend und geeignet sind.

Stand: September 2014

Fluoropolymergroup

Die Fluoropolymergroup ist eine Fachgruppe von pro-K Industrieverband Halbezeuge und Konsumprodukte aus Kunststoff e.V.; Städelstraße 10, D-60596 Frankfurt am Main; Tel.: 069 - 27105-31; Fax 069 - 239837;
E-Mail: info@pro-kunststoff.de; www.pro-kunststoff.de

Trägerverband von  **GKV** und **EUPC**



Kunststoff
Werkstoff des 21. Jahrhunderts

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Aufgaben von Kompensatoren	5
3	Konstruktionsmerkmale	6
3.1	Allgemeines.....	6
3.2	PTFE Balg - Herstellungsverfahren und geometriebedingte Eigenschaften.....	7
3.2.1	Balgherstellung	7
3.2.2	Einfluß der Balggeometrie	9
3.3	Werkstoffe	10
3.3.1	PTFE Balg.....	10
3.3.2	Flansche	11
3.3.3	Stützringe.....	12
4	Betriebsverhalten	12
4.1	Bewegungsaufnahmen.....	12
4.2	Druck-/ Temperatur Einsatzgrenzen.....	12
4.3	Vakuumbeständigkeit.....	14
4.4	Lastwechsel	14
5	Maße und Ausführungen	15
5.1	Maße.....	15
5.1.1	Balg und Stützringe	15
5.1.2	Losflansche	16
5.2	Sonderbauformen	16
6	Prüfung	19
6.1	Allgemeines (Prüfumfang).....	19
6.2	Prüfstelle	19
6.3	Prüfung der Stützringe	19

6.4	Prüfung des PTFE-Halbzeugs (Rohr)	19
6.4.1	Dichte	19
6.4.2	Reißfestigkeit und Reißdehnung	19
6.5	Prüfung am Fertigteil	20
6.5.1	Prüfung der Beschaffenheit	20
6.5.2	Maßprüfung	20
6.5.3	Prüfung der elektrostatischen Aufladbarkeit	20
6.5.4	Baumusterprüfung von PTFE-Kompensatoren	20
6.5.5	Wechselbelastungen	20
7	Verpackung, Lagerung, Transport	21
8	Kennzeichnung	21
9	Betrieb	22
9.1	Bestimmungsgemäße Verwendung	22
9.2	Verbotene Handlungen	22
9.3	Restgefahren	22
9.4	Störungen	23
9.5	Spritzschutz	24

1. Einleitung

PTFE-Kompensatoren sind Bauelemente, die wegen ihrer chemischen Beständigkeit verbreitet in Chemieanlagen angewendet werden. Neben dem bekannten Einsatz in Stahl- und PTFE-ausgekleideten Stahlrohrleitungen werden diese Kompensatoren wegen ihrer großen Verstellwege insbesondere in Kunststoff- bzw. GfK-Rohrleitungen und wegen ihrer Flexibilität und geringen Federraten insbesondere auch an sensiblen Anlagenteilen mit emaillierten Ausrüstungen, Graphitapparaten, Wärmetauschern und an Pumpen eingesetzt.

2. Aufgaben von Kompensatoren

Die Wärmeausdehnung ist eine in der Regel ungewollte Begleiterscheinung beim Betrieb von Rohrleitungen. Sie erfordert Ausgleichsmaßnahmen, die schon im Planungsstadium zu berücksichtigen und längst Stand der Technik sind.

Eine Möglichkeit der Kompensation der Wärmeausdehnung besteht in der Verwendung von sog. Lyrabögen, die aber sehr ausladend und materialintensiv gestaltet sind. Eine Alternative dazu sind die Balgkompensatoren. Sie benötigen nur einen Bruchteil an Material und Raum. Hierbei wird die Feder- bzw. Deformationseigenschaft von ein- oder mehrwelligen Bälgen ausgenutzt. Die Größe einer Bewegungsaufnahme, also Dehnung oder Stauchung eines Balges, hängt dabei sehr stark vom Balgmaterial und der Balgeometrie ab.

Die Steifigkeit des Balgmaterials drückt sich in der Federrate aus, die für Zug- und Druckbelastungen angegeben werden kann. PTFE-Bälge gelten hierbei als leichtflexibel. Aus der Multiplikation der Federrate mit dem Verstellweg ergibt sich die Verstellkraft des Bauelementes.

Während die prozessbedingten Wärmedehnungsvorgänge vergleichsweise niederfrequent ablaufen, treten insbesondere bei der Koppelung von Rohrleitungen über Kompensatoren an Pumpen höher frequente Schwingungen und Vibrationen auf, die zu dämpfen sind. Hier kommt eine besondere Eigenschaft des PTFE-Balgmaterials zum Tragen, nämlich die geringe Neigung zur Materialermüdung und das völlige Fehlen einer Spröbruchneigung im Vergleich zu bestimmten Metallen oder anderen Kunststoffen bzw. Elastomeren.

Ein weiteres Anwendungskriterium für diesen Kompensatortyp ist die nahezu universelle Chemikalienbeständigkeit des PTFE Materials, die den Einsatz bei fast allen Medien erlaubt.

Es gibt heute eine Vielzahl von Kompensatortypen, die sich in der Wellenzahl, dem konstruktiven Aufbau, der Herstellungstechnologie und dem Verwendungszweck unterscheiden. Die am häufigsten eingesetzten Typen sind in diesem Technischen Merkblatt beschrieben.

3. Konstruktionsmerkmale

3.1. Allgemeines

PTFE-Kompensatoren bestehen hauptsächlich aus dem PTFE-Balg und den Losflanschen für den Einbau in die Rohrleitungen. Die Anschlußflansche sind dabei auf die Druckstufe PN 10 ausgelegt. Die Ränder des PTFE-Balges werden an den Losflanschen umgebördelt und dienen gleichzeitig als Dichtfläche. Die Wellenzahl kann variieren, wobei die niedrigen Wellenzahlen besser die Druckbelastungsanforderungen und höheren Wellenzahlen stärker die Beweglichkeitsanforderungen erfüllen.

Die Balgbewegung kommt dabei stets aus den Umlenkungen und den Flanken der Welle. Als zusätzliche druckaufnehmende Teile sind metallische Stützringe in den Wellentälern des Balges angeordnet. Übliche Nennweiten dieser PTFE-Kompensatoren sind DN 25 bis zu DN 1500.

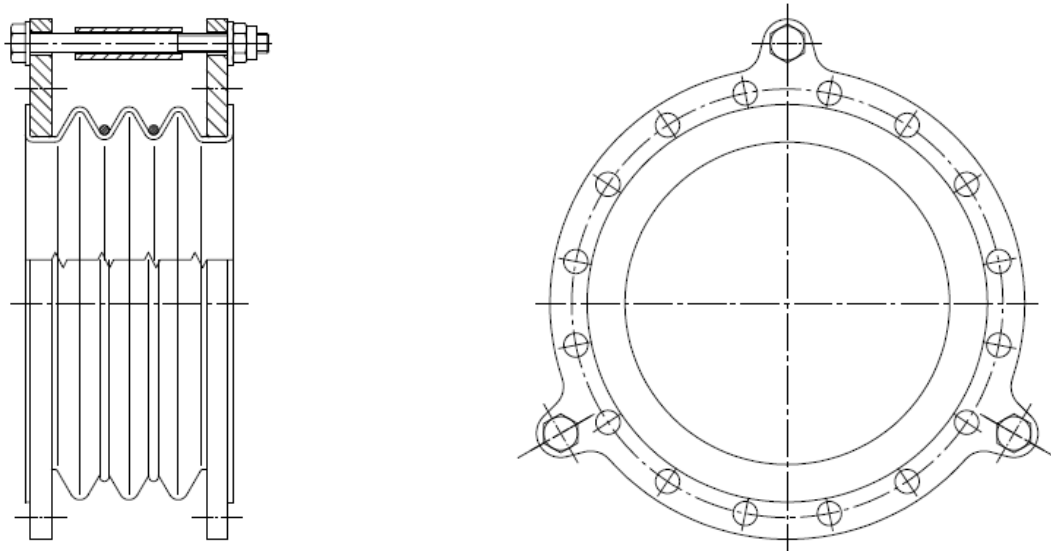


Abb. 1: Beispiel eines dreiwelligen Kompensators mit Begrenzungsstangen

Zur Begrenzung der hauptsächlich axialen Bewegungsaufnahmen besitzen die Kompensatoren üblicherweise Distanzstangen und Distanzhülsen, die für den normalen Betriebsfall den Hubbereich (Dehnung und Stauchung) begrenzen. Sie können auch im Havariefall begrenzt als Schutz vor Fehlbelastungen dienen, z.B. als Kompressionsschutz zur Verhinderung der Balgbeschädigung, sind dafür aber nicht gezielt ausgelegt. Die Begrenzungen müssen in mindestens zweifacher Ausführung vorhanden sein. Bei Verwendung von Gewindestangen ist mindestens die Festigkeitsklasse 5.6 einzusetzen. Auch rein als Lateral- oder Angularkompensator fungierende Bauteile besitzen Führungsstangen und -elemente.

3.2. PTFE Balg - Herstellungsverfahren und geometriebedingte Eigenschaften

3.2.1. Balgherstellung

Die Formgebung des Balges erfolgt am vollständig gesinterten, pastenextrudierten PTFE-Liner.

PTFE-Faltenbälge, die spanend aus gepresstem Material oder isostatisch gepresst hergestellt werden, weisen wesentlich niedrigere Belastungskenngrößen auf und sind nicht Gegenstand dieses Technischen Merkblattes. Wenig verbreitet ist die Technologie des Wickelns von dünnen PTFE-Folien auf eine Form bis zum Erreichen einer bestimmten Balgwanddicke. Hier besteht die Gefahr einer Delamination der Lagen während des Betriebes. Auch diese Kompensatoren werden hier nicht näher behandelt.

Es gibt hinsichtlich der Formung der Bälge technologische Unterschiede, die von der Nennweite des Kompensators oder auch vom Ausgangsmaterial abhängen. Verbreitet ist vor allem bei kleinen Nennweiten eine thermisch/pneumatische bzw. eine thermisch/hydraulische Formgebung, bei der das Linermaterial nach einer Erwärmung in eine Balgform gepresst wird.

Bei größeren Nennweiten bietet sich auch eine thermisch/mechanische Formgebung an.

Je nach Formgebungstechnologie kann es zu Veränderungen des PTFE Liners kommen, die erhebliche Einflüsse auf die Betriebssicherheit haben.

Besondere Bedeutung hat eine gleichmäßige Wandstärkenverteilung, da dadurch die Spannungsspitzen in hoch belasteten Bereichen des Balges während des Betriebs minimiert werden.

Außerdem muss die Oberfläche des PTFE-Balgs glatt sein und es dürfen keine funktionsbeeinflussenden Fehler mit folgender Ausprägung vorhanden sein:

- Poren oder Lunker
- Fremdkörpereinschlüsse
- Kratzer oder Risse
- Mikrorisse / Crazes im Querschnitt
- kerbähnliche Faltungen oder scharfkantige Übergänge
- Weißbruchcharakteristik in umgeformten Bereichen
- unsachgemäße Einförmigkeit der Stützringe mit kerbbildenden Aufwulstungen
- Strukturinhomogenitäten

Geometrien wie in Abbildung 2 sind nicht zulässig, da sie zu vorzeitigem Versagen des Kompensators schon bei geringen Belastungen führen können.

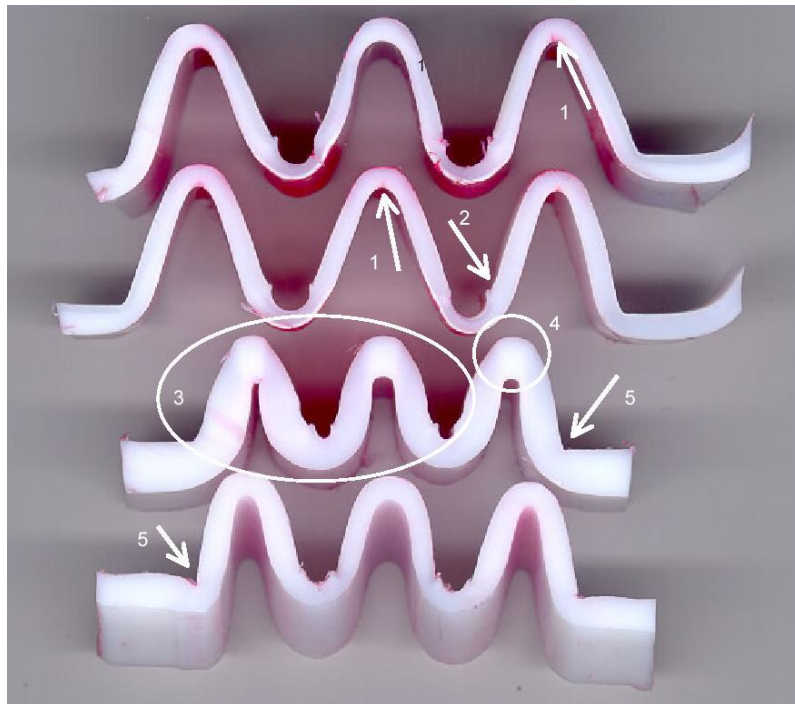


Abb. 2: Unzulässige funktionsbeeinflussende Fehler am PTFE-Balg

- 1 – Anrisse auf der Innenseite des Wellenbergs
- 2 – Einformung durch Stützringe und Aufwulstungen mit Kerbbildung
- 3 – ungleichmäßige Wellenkontur, z. T. mit Faltungen am Wellenberg
- 4 – plastische Verformungen mit Weißbruchzonen
- 5 – scharfkantige Übergänge mit Kerben

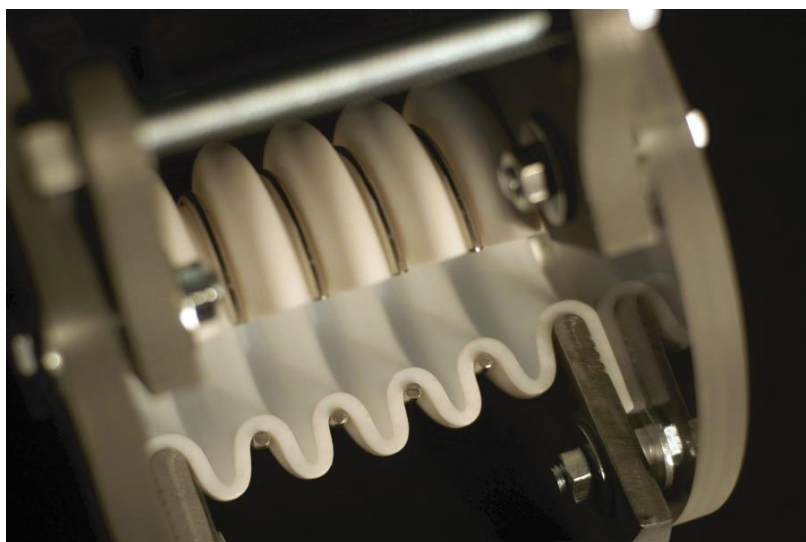


Abb. 3: Gleichmäßige Wanddickenverteilung des PTFE-Balgs FLUROFLEX[®], Quelle SGL / Dr. Schnabel GmbH

3.2.2. Einfluß der Balggeometrie

Für die Funktion als Kompensator ist eine sorgfältige Balance von Wandstärke und Geometrie der Wellen entscheidend. Eine geringe Wandstärke führt zu hoher Flexibilität aber auch einem geringen maximalen Betriebsdruck. Eine reine Erhöhung der Wandstärke des Kompensators ohne Änderung der Wellengeometrie führt bei gleicher Kompensatorbewegung nicht notwendigerweise zu einer höheren Druck-/Temperaturfestigkeit, da die höheren Verstellkräfte zusätzliche Spannungen erzeugen.

FEM-Berechnungen sind hilfreich, um die Kompensatorgeometrie und die Wandstärke zu optimieren. Diese Analyse von Dr. Schnabel GmbH zeigt deutlich, dass die maximalen Spannungen im PTFE bei axialer Belastung auf der Innenseite des „Wellenberges“ und bei tangentialer Belastung im Bereich der Stützringe im „Wellental“ auftreten (gelb/roter Bereich der Abbildungen 4a und b).

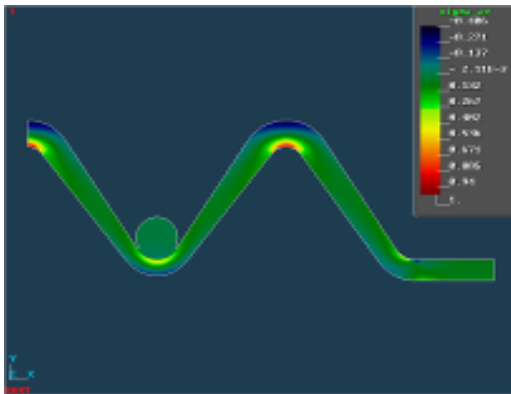


Abb. 4a: FEM Berechnung axiale Spannung

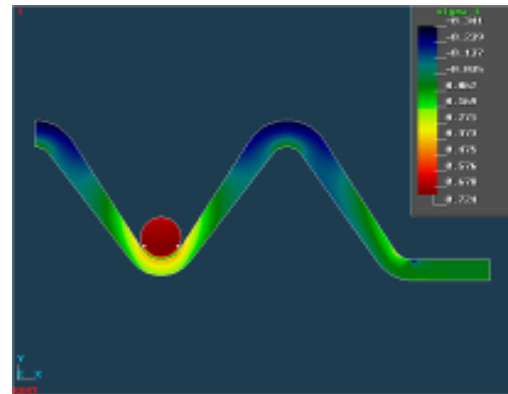


Abb. 4b: FEM Berechnung tangential Spannung

Der Spannungsgradient im Wellenberg kann durch die Balggestaltung beeinflusst bzw. vermindert werden. Die Simulation bestätigt zudem das Ergebnis praktischer Untersuchungen, wonach überwiegend die Balgrisse vom Wellenberg ausgehen (siehe Abbildung 5).

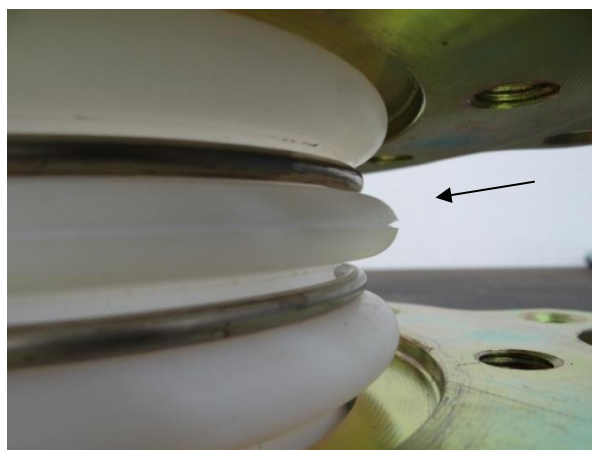


Abb. 5: Rissbildung nach <5000 axialen Bewegungszyklen aufgrund ungleichmäßiger Wandstärkenverteilung

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass im Falle einer Überbelastung des Balges (Bereich zwischen zul. Druck und Berstdruck) das Material einer Welle zu fließen beginnt und sich ausbeult bevor es je nach Größe der Überbelastung nach Stunden bis Tagen zum Bersten kommt. Ein bevorstehendes Schadensereignis durch Fehlbelastung ist dadurch in gewisser Weise am Kompensator erkennbar. Zu geringe Radien in den Wellen bzw. steilere Flankenwinkel führen zwar zu einer Erhöhung der

Druckbelastbarkeit, lassen aber auf der anderen Seite auch den Spannungsgradient in den Wellenbergen weiter ansteigen. Dadurch steigt die Gefahr einer Rissbildung bzw. des Berstens.

Die Simulation der tangentialen Spannung (Abb. 4b) zeigt deutlich die Bedeutung der Stützringe. Sie sind das drucktragende Teil des Kompensatorbalges. Dagegen spielt die Wanddickenverteilung am Stützring für die Festigkeit des Kompensators eine untergeordnete Rolle. Allerdings hat diese Wanddicke Einfluss auf die Permeation bestimmter Medien und eine damit verbundene Gefahr der Schädigung der Stützringe, weshalb auch hier die Mindestwanddicken zu berücksichtigen sind. Die Balgwanddicken sollten nominal zwischen 3 und 6 mm liegen.

3.3. Werkstoffe

3.3.1. PTFE Balg

Werkstoff	Fertigung der Auskleidung	Werkstoffkennwerte		
		Bruchfestigkeit [N/mm ²] min.	Bruchdehnung [%] min.	Dichte [g/cm ³]
PTFE virginal, ungefüllt	pastenextrudiert	24,0	275	2,14 bis 2,17
PTFE virginal, antistatisch	pastenextrudiert	24,0	275	2,13 bis 2,16

Tabelle 1: Werkstoffkennwerte für elektrostatisch aufladbares bzw. antistatisches PTFE

Ein weiterer wichtiger Kennwert ist der Porengehalt, der über den Stretch Void Index (SVI) nach ASTM D4895 bzw. DIN EN ISO 12086-2 bestimmt wird. Ein geringer Porengehalt ist für eine hohe Wechselbiegefestigkeit entscheidend, da sich Poren durch die Wechselbelastung zu Mikrorissen bis hin zum Bruch ausdehnen können. Der SVI sollte den Wert 200 nicht übersteigen.

In der Regel zeigen PTFE Homopolymere gegenüber modifiziertem PTFE eine deutlich höhere Wechselbiegefestigkeit, was auf die höhere Molekularmasse zurückzuführen ist.

Antistatische Ausführungen

Bei Medien mit geringer Leitfähigkeit wird der Einsatz antistatisch ausgerüsteter PTFE-Pastenextrudate empfohlen. Der Oberflächenwiderstand soll hier 10^9 Ohm und der Ableitwiderstand (mindestens an einer Stelle) 10^8 Ohm nicht überschreiten.

Oxidierende Medien wie z.B. Salpetersäure können die antistatische Wirkung über die Zeit reduzieren, was häufig in einer Aufhellung der schwarzen Färbung auf der Innenseite sichtbar wird.

Bei antistatischen PTFE-Kompensatoren muss der Füllstoff gleichmäßig verteilt sein und es dürfen keine Füllstoffnester oder Trennungen vorhanden sein (Bilder 6 und 7).

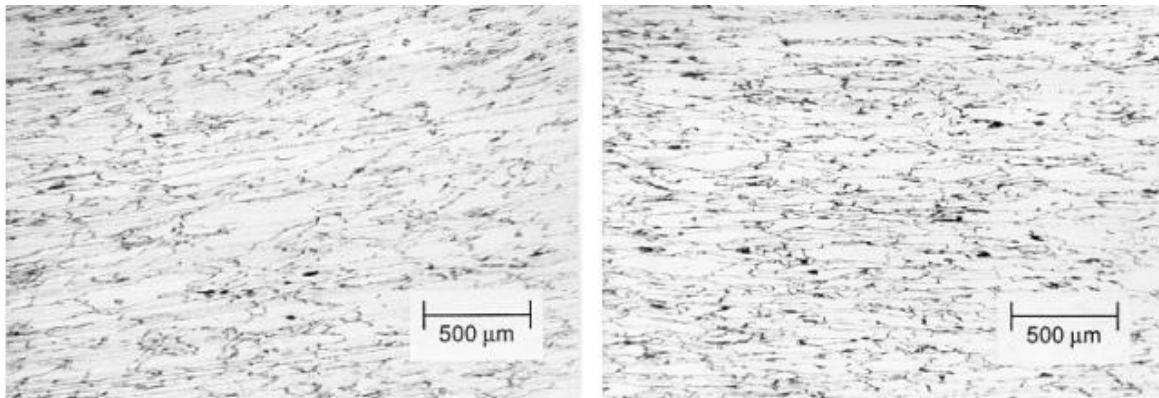


Abb. 6a und 6b: Gleichmäßige Rußverteilung

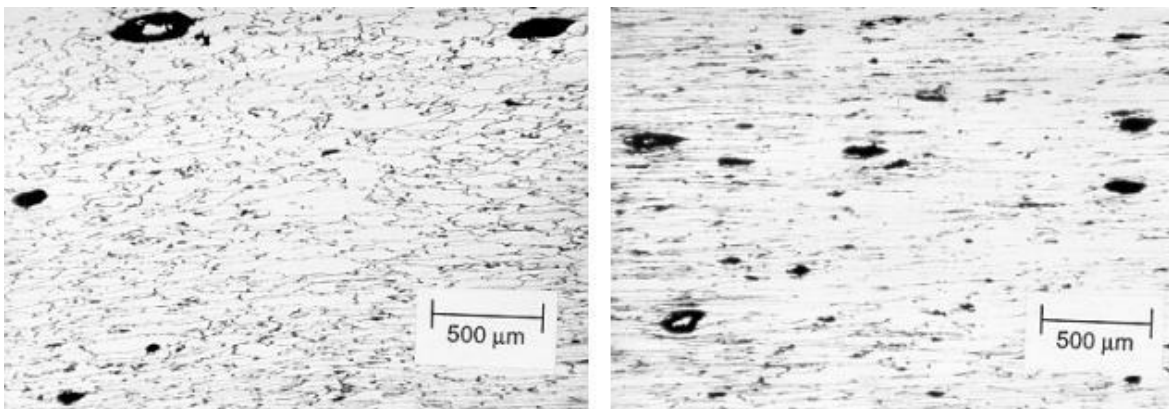


Abb. 7a und 7b: Ungleichmäßige Rußverteilung, entspricht nicht den Anforderungen

3.3.2. Flansche

Flansche sind in den Werkstoffen nach Tabelle 2 auszuführen. Für die Herstellung gelten die Anforderungen nach AD 2000-Merkblatt W 9.

Die in den Tabelle 3 und 4 ausgewiesenen Flanschblattstärken weichen von den Stärken für Standardflansche nach DIN EN 1092-1 ab. Die Maße gelten ausschließlich für die hier beschriebenen PTFE-Kompensatoren und für Druckstufen bis PN 10. Die reduzierten Stärken wurden unter Berücksichtigung eines Prüfdrucks von 15 bar, eines zusatzlastfreien Einbaus und von PTFE als Dichtungswerkstoff ausgelegt.

Werkstoff	Werkstoff Nr.	Erzeugnisform/ Vormaterial	Technische Lieferbedingungen
S235JRG2 (RSt37-2)	1.0038	Blech	DIN EN 10025-2 AD 2000-Merkblatt W 1
P250GH	1.0460	Schmiedeteil	DIN EN 1092-1
GP240GH (GS C25)	1.0619	Gussteil	DIN EN 10213-2

Tabelle 2: Werkstoffe für Losflansche

Die Flansche sind mit gestrahlter Oberfläche (Vorbereitungsgrad mindestens Sa 2 1/2) nach DIN EN ISO 12944-3 bzw. 12944-4 und mit Korrosionsschutz auszuführen. Als Korrosionsschutz ist eine Zink-

Epoxidharz-Grundbeschichtung nach DIN EN ISO 12944-5 (Schichtdicke min. 40 µm) oder ein galvanischer Überzug mit irisierender Chromatierung Fe/Zn12/C (Schichtdicke min. 12 µm) nach DIN 50961 bzw. DIN EN ISO 2081 aufzubringen.

3.3.3. Stützringe

Die Stützringe bestehen aus Werkstoff 1.4571 (oder äquivalent 1.4404 bzw. 316L) nach DIN EN 10088-3. Die Schweißnaht ist so auszuführen, dass ein Schweißnahtfaktor von 0,85 sichergestellt ist. Sind aus Diffusions- bzw. Korrosionsgründen andere Werkstoffe erforderlich, sind diese zu vereinbaren und es ist sicherzustellen, dass die Druck-/Temperatur-Einsatzgrenzen nach Abschnitt 4.2 eingehalten werden. Dies gilt insbesondere bei Verwendung chlorhaltiger Medien, die zu Spannungsrisskorrosion bei rostfreien Stählen führen können (siehe Abschnitt 9.1).

4. Betriebsverhalten

4.1. Bewegungsaufnahmen

Grundsätzlich können die PTFE-Kompensatoren für axiale, laterale und angulare Bewegungsaufnahmen eingesetzt werden. Dem Einsatzfall entsprechend sind die Führungselemente zu gestalten.

Im Betriebsfall können verschiedene Bewegungsformen gleichzeitig auftreten. In der Rohrplanung ist das zu berücksichtigen und der Hersteller sollte dann in der Lage sein, die Verminderung der Bewegungsaufnahmen bei gleichzeitigem Auftreten verschiedener Bewegungsformen ausweisen zu können.

Weiterhin drückt sich die Flexibilität der PTFE Bälge in den Federraten aus. Diese werden für axiale, laterale und angulare Bewegungen angegeben und sind temperaturabhängig vom Hersteller auszuweisen. Neben dem Temperatureinfluss bei Standardkompensatoren hat die Wanddicke des Balgmaterials ebenfalls Einfluss auf die Flexibilität. Letzteres spielt bei dem Ausgleich der Wärmedehnung auf einer Rohrbrücke eine untergeordnete Rolle, aber bei der Verbindung der Rohrleitungen/Kompensatoren mit Apparaten, z.B. Graphitapparate, oder mit Pumpen, sind die Federraten der Kompensatoren für die Stutzenbelastung oder für die Schwingungsdämpfung entscheidende Auslegungsgrößen.

4.2. Druck-/ Temperatur Einsatzgrenzen

Kompensatoren mit weniger Wellen bieten höhere Temperatur-/Druckfestigkeit, nehmen aber im Vergleich zu Kompensatoren mit mehr Wellen kleinere Bewegungen auf. Das bedeutet: je mehr Wellen, desto größer ist die Bewegungsaufnahme, aber umso geringer die Temperatur-/Druckfestigkeit.

Die Druck-/Temperaturbelastungsgrenzen werden üblicherweise über Berstdruckversuche bestimmt. Der Berstdruck ist jedoch von der Betriebsdauer und Temperatur abhängig, so dass die Einbeziehung von Zeitstandversuchen in die Bewertung erforderlich ist.

Häufig werden Betriebsdrücke durch Berstversuche bei Raumtemperatur unter Einbeziehung eines Sicherheitsfaktors bestimmt. Hierbei wird der Kompensator innerhalb weniger Sekunden zum Platzen gebracht. Mit einem relativ hohen Sicherheitsfaktor z.B. von 4 wird dann näherungsweise der gesamte Betriebstemperaturbereich bis zu 200°C abgedeckt. Diese Betrachtungsweise kann jedoch das nicht-lineare Temperaturverhalten von PTFE nicht berücksichtigen und ist daher ungeeignet, um die Betriebsgrenzen eines PTFE Kompensators zu bestimmen..

Die Berechnung des zulässigen Betriebsüberdrucks erfolgt in Anlehnung an die ISO 9080 und DVS 2205-1 Blatt 21 in einem Zeitstand-Innendruckversuch bei 150°C mit einem Sicherheitsfaktor, in Abhängigkeit vom Medium und den Betriebsbedingungen, von bis zu 2 (siehe Abschnitt 6.5.4).

Die Einsatzgrenzen bei Überdruckbeanspruchung sind als Mindestwerte vorgegeben. Die Druck-/Temperatur-Einsatzgrenzen werden in Abb.8 für Überdruck- und in Abb.10 für Unterdruckbeanspruchungen dargestellt. Sie gelten für zwei- und dreiwellige Kompensatoren. Für Kompensatoren mit anderen Wellenzahlen sind die zulässigen Einsatzgrenzen vom Hersteller anzugeben.

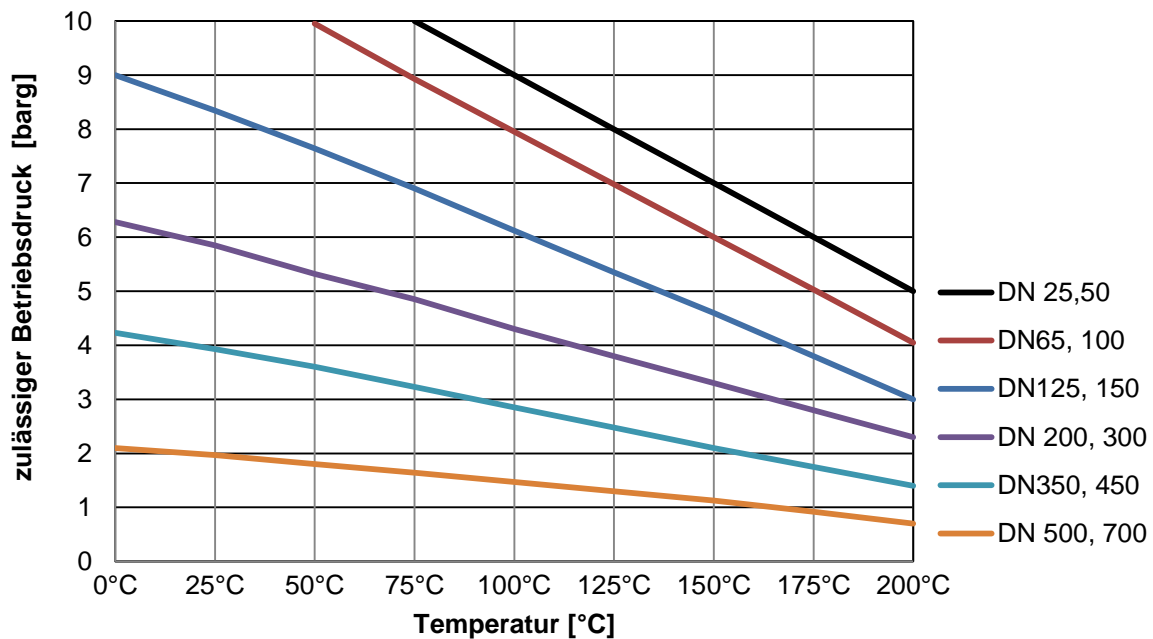


Abb. 8: Mindestdruckbelastbarkeit von zwei- und dreiwelligen PTFE-Kompensatoren, ermittelt mit Sicherheitsfaktor 2

Neueste FEM Drucksimulationen, die das wahre Spannungs-/Dehnungsverhalten von PTFE in Abhängigkeit der Temperatur berücksichtigen, führen ebenfalls zu Ergebnissen, die mit Praxistests sehr gut übereinstimmen. (Das wahre Spannungs-/Dehnungsverhalten zeigt, dass bei Dehnung die Spannung in der Probe ansteigt, wenn dabei die Querschnittänderung berücksichtigt wird.) Dadurch lassen sich heute auch die Grenzbelastungen von Kompensatoren großer Nennweiten bestimmen, die bisher lediglich auf Basis von Daten kleinerer Kompensatoren abgeschätzt werden konnten.

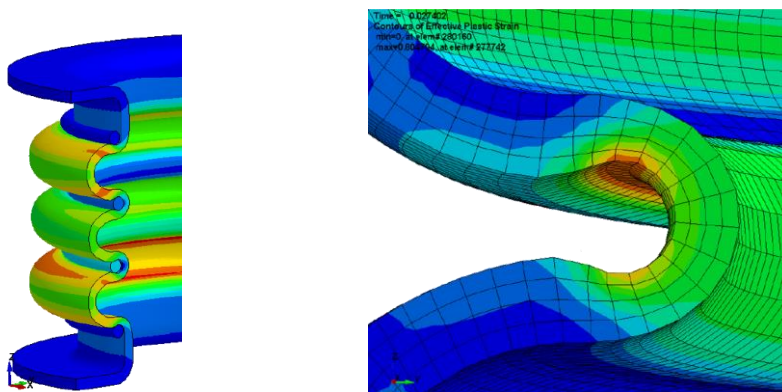


Abb. 9a und b: Simulation des maximalen Betriebsdruckes ohne plastische Verformung; Quelle SGL / Dr. Schnabel GmbH

4.3. Vakuumbeständigkeit

Rohrleitungen, insbesondere innerhalb von Chemieanlagen, sind ständig wechselnden Belastungen ausgesetzt. Wenn schon nicht prozessbedingt, so können oftmals z.B. auch Entleerungsvorgänge in den Anlagen zu Unterdruckbelastungen führen. Kompensatoren in Rohrleitungssystemen, müssen diese teilweise erheblichen Druckschwankungen aushalten. Die Vakuumbelastbarkeit ist in dem Bild 10 dargestellt.

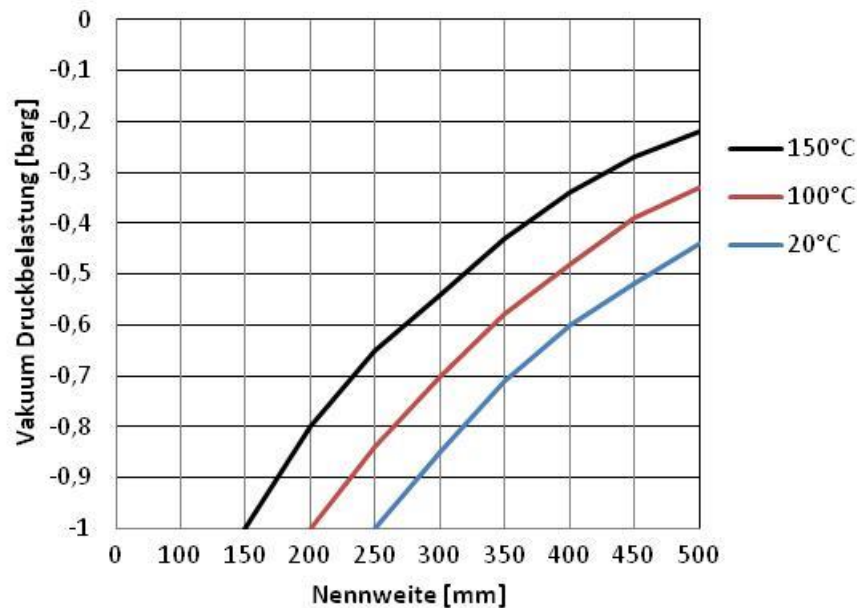


Abb. 10: Unterdruckbelastbarkeit von zwei- und dreiwelligen PTFE-Kompensatoren

Die Angaben zur Unterdruckfestigkeit basieren auf einer Sicherheit von mindestens 0,5 bar gegen Kollabieren (Prüfung bei äußerem Überdruck). Der in den Diagrammen dargestellte obere Temperaturwert von 150 °C stellt nicht die Grenztemperatur des Werkstoffs PTFE dar.

Für Betriebsbedingungen außerhalb des in den Abbildungen 8 und 10 dargestellten Bereichs ist die Eignung vom Hersteller u. a. mittels erweiterter Zeitstandprüfung nachzuweisen.

4.4. Lastwechsel

Grenzbelastungen werfen auch die Frage nach Grenzwerten für die Lastwechselanzahl auf. Hierbei unterscheidet sich PTFE grundsätzlich von metallischen Werkstoffen durch seine herausragende Wechselbiegefestigkeit aufgrund der extrem hohen Molekularmasse.

Praxisrelevante Lastwechseltests zeigen den großen Einfluss der Balgeometrie auf die Langzeitfestigkeit (siehe Abschnitt 3.2.2).

Unter Ausnutzung des vollen Hubes und einer Frequenz zwischen 0,1 bis etwa 0,3 Hz wurden z.B. mit FLUROFLEX® Kompensatoren von SGL / Dr. Schnabel GmbH drucklos Lastwechselzahlen von > 2 Millionen gemessen. Das Testende wurde dabei durch Abbruch, nicht durch Ausfall des Balges, bestimmt. Die gleichzeitig bei diesen Versuchen gemessene Verstellkraft wies kaum eine Veränderung (< 3%) auf, was die Langzeitfestigkeit belegt.

5. Maße und Ausführungen

5.1. Maße

Die Mindestwanddicken s_{\min} der Kompensatoren und die Drahtdurchmesser der Stützringe d_D nach Tabelle 3 sind an allen Stellen einzuhalten.

5.1.1. Balg und Stützringe

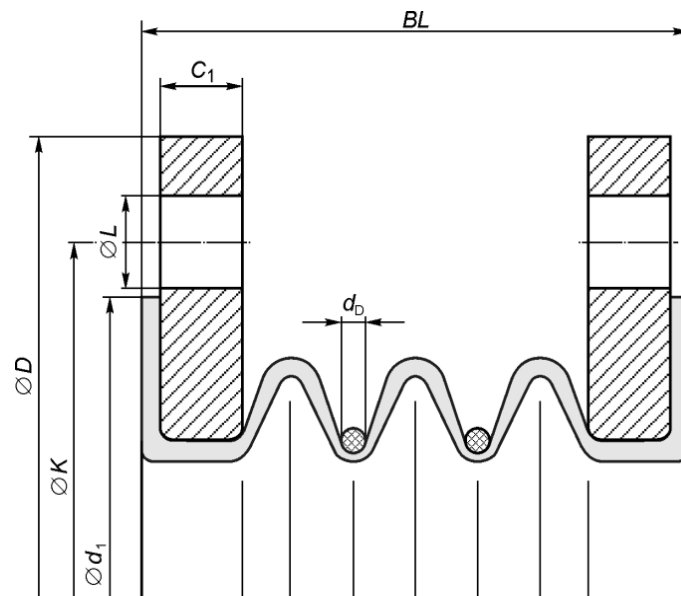


Abb. 11: Skizze eines PTFE-Axialkompensators; Beispiel für 3-wellige Ausführung

DN	2-wellig		3-wellig		5-wellig		d_1 [mm]	s_{\min} [mm]	s_{\max} [mm]	d_D [mm]
	BL [mm]	h +/- [mm]	BL [mm]	h +/- [mm]	BL [mm]	h +/- [mm]				
25	54	6	70	10	100	15	68	2	5	3
32	56	6	75	10	105	15	78	2	5	3
40	56	6	80	15	115	20	88	2	5	3
50	68	10	85	15	125	25	102	2	5	4
65	78	12	100	20	145	30	122	2	5	4
80	88	15	110	20	160	35	138	2,3	5,8	5
100	88	15	110	25	165	40	158	2,3	5,8	5
125	95	15	120	25	170	40	188	2,3	5,8	5
150	105	15	130	25	180	40	212	2,3	5,8	6
200	110	15	140	30	210	40	268	3,5	8,8	6
250	128	20	165	30	240	50	320	4	10	8
300	140	20	175	30	250	50	370	4	10	8
350	145	20	190	35	265	50	430	4	10	8
400	145	20	190	35	265	50	482	4	10	8

Tabelle 3: Maße für PTFE-Axialkompensatoren in 2-, 3- und 5-welliger Ausführung

Die in Tabelle 3 angegebenen Werte für den Hub h sind nur bei Einsatz des Kompensators als reiner Axialkompensator zulässig. Werden PTFE-Kompensatoren als "Universalkompensatoren" verwendet, so können verschiedene, d. h. axiale, angulare und/oder laterale Bewegungsaufnahmen gleichzeitig auftreten. Die für die alleinige axiale, angulare oder laterale Bewegungsaufnahme ausgewiesenen Herstellerangaben entsprechen dem jeweiligen maximalen Belastungsfall "100 %". Bei kombiniertem Auftreten verschiedener Bewegungsaufnahmen sind Abschläge an den ausgewiesenen Grenzwerten der Bewegungsaufnahmen vorzunehmen, die gewährleisten, dass die Summe der Bewegungsaufnahmen die Maximalbelastung nicht übersteigt. Diese Abschläge bzw. Einschränkungen werden von den Herstellern benannt.

5.1.2. Losflansche

DN	Außen Ø*	Lochkreis Ø	Loch Ø**	Schrauben		Flanschdicke
	D			K	L	
25	115	85	M12	4	M12	10
32	140	100	M16	4	M16	10
40	150	110	M16	4	M16	10
50	165	125	M16	4	M16	12
65	185	145	M16	4	M16	12
80	200	160	18	8	M16	12
100	220	180	18	8	M16	15
125	250	210	18	8	M16	15
150	285	240	22	8	M20	18
200	340	295	22	8	M20	20
250	395	350	22	12	M20	22
300	445	400	22	12	M20	25
350	505	460	22	16	M20	30
400	565	515	26	16	M24	30

* Sonderformen zur Aufnahme der Distanzhalter sind zulässig.

** Flansche DN 65 werden mit Gewindebohrungen ausgeführt.

Tabelle 4: Maße für Losflansche nach DIN EN 1092-1

5.2. Sonderbauformen

Sonderbauformen von PTFE-Kompensatoren werden durch bestimmte Belastungskombinationen erforderlich. Werden höhere Druckbelastungen als z.B. in Abbildung 6 ausgewiesen notwendig, so kann man auf mehrlagige Metallbälge ausweichen, die aus Gründen des Korrosionsschutzes PTFE-ausgekleidet werden (siehe Abbildung 12). Dieser Kompensatortyp kann für die Druckstufen PN10, PN16 und PN25 ausgelegt bzw. eingesetzt werden. Er kombiniert die Chemikalienbeständigkeit von PTFE und die hohe Festigkeit eines Metallkompensators. Durch eine Ausführung mit mehreren übereinanderliegenden Blechlagen wird die Federrate minimiert.

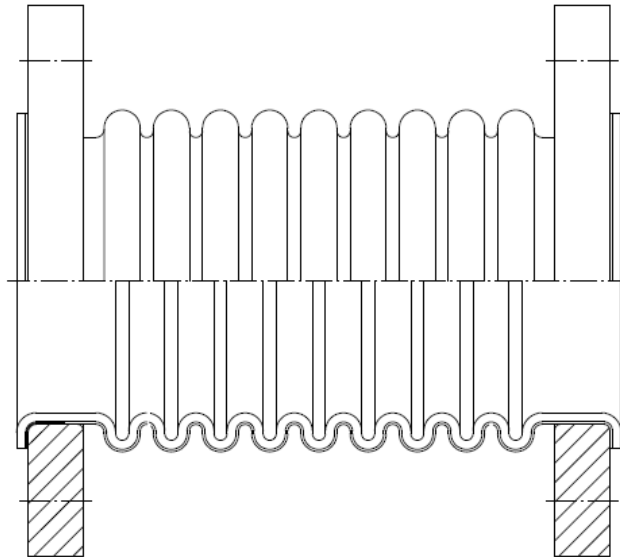


Abb. 12: Hochdruckkompensator mit PTFE Auskleidung

Für Unterdruckbelastungen, die durch die Grenzen in Abbildung 10 nicht abgedeckt sind, können zusätzliche innenliegende Stützringe verwendet werden, um Vakuumfestigkeiten zu ermöglichen. Entsprechende Daten sind vom Hersteller zu erfragen.

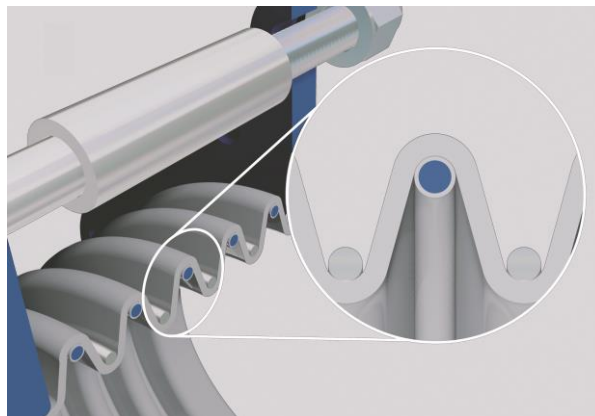


Abb. 13: Innenliegende Stützringe zur Erhöhung der Vakuumfestigkeit; Quelle SGL / Dr. Schnabel GmbH

Für dauerhafte Vakuumbelastungen werden spezielle Vakuumkompensatoren ab Nennweite DN 200 angeboten (siehe Abbildung 14). Sie sind gekennzeichnet durch einen PTFE-Liner, der an Stelle des Balges durch einen Klemmring gehalten ist. Damit wird ein Kollabieren des PTFE-Liners verhindert. Diese Vakuumkompensatoren sind für axiale Bewegungsaufnahmen konstruiert.

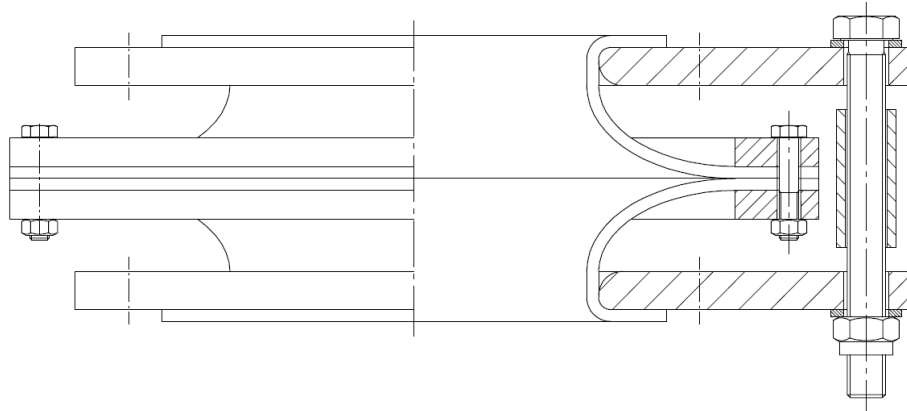


Abb. 14: PTFE-Vakuumpensator FLUROFLEX® FX-0; Quelle SGL / Dr. Schnabel GmbH

Beim Einsatz von Kompensatoren ist wegen der Wellenstruktur der Bälge mit besonderer Abrasionsgefahr zu rechnen. Gerade bei Anwendungen im chemischen Bereich handelt es sich häufig um feststoffbeladene Medien. Zum Schutz vor Abrasion können die Kompensatoren mit metallischen oder PTFE-Schutzrohren versehen werden. Diese beeinträchtigen die axiale Bewegungsaufnahme nicht.

Im Zuge eines Tests kann dieses Schutzrohr als Abrasionsdetektor fungieren, womit eventuelle Linerschädigungen rechtzeitig erkannt und daraus resultierenden Schadensereignissen vorgebeugt werden kann.

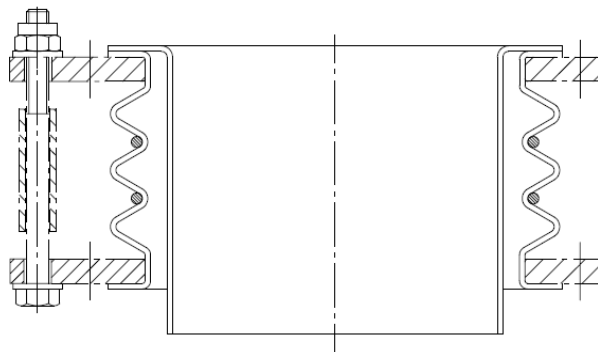


Abb 15: Kompensator mit innenliegendem Schutzrohr

6. Prüfung

6.1. Allgemeines (Prüfumfang)

Kompensatoren sind als Bauteile von Rohrleitungen im Sinne der Druckgeräterichtlinie (DGRL) prüfpflichtig. Sie werden vom Hersteller mit CE-Kennzeichen, Konformitätserklärung und Betriebsanleitung geliefert. Unabhängig von der Einstufung nach DGRL sind die Schluss- und Druckprüfung nach DGRL zu bescheinigen.

Die Anzahl der Prüfungen am Halbzeug und am Fertigteil nach Abschnitten 6.3 und 6.4 ist zwischen den Vertragspartnern zu vereinbaren. Die Anforderungen der DGRL sind einzuhalten.

6.2. Prüfstelle

Die nachfolgend aufgeführten Prüfungen werden fertigungsbegleitend durch eine von der Produktion unabhängigen Prüfstelle des Herstellers, soweit in der Bestellung nichts anderes vereinbart wurde, durchgeführt.

6.3. Prüfung der Stützringe

An 2 % der Stützringe sind Zugversuche durchzuführen. Die Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung müssen in den Grenzen des verwendeten Werkstoffes liegen. Die Grenzwerte sind der EN/DIN-Norm des gelieferten Werkstoffes zu entnehmen. Alternativ können je Nennweite 10 % der Stützringe an der Schweißnaht durchstrahlt werden. Die Bewertung erfolgt nach DIN EN ISO 5817. Die Prüfungen sind nicht objektbezogen und können somit fertigungsbegleitend durchgeführt werden.

6.4. Prüfung des PTFE-Halbzeugs (Rohr)

Die Prüfung der Halbzeuge ist mindestens an einem extrudierten Rohr je Sintervorgang, Rohstoffcharge und Fertigungslos durchzuführen. Die Prüfungen sind nach DIN 2874 durchzuführen.

6.4.1. Dichte

Die Anforderungen sind nach DIN EN ISO 1183 zu prüfen.

6.4.2. Reißfestigkeit und Reißdehnung

Die Anforderungen nach Tabelle 1 sind durch einen Zugversuch nach DIN EN ISO 527-1 nachzuweisen. Die Probenform (Normkleinstab Typ A) und die Prüfgeschwindigkeit (50 mm/min) sind nach DIN EN ISO 13000-2 festgelegt.

6.5. Prüfung am Fertigteil

6.5.1. Prüfung der Beschaffenheit

Der Kompensator und insbesondere der PTFE-Balg wird auf erkennbare Mängel geprüft. Die Prüfung wird visuell, ggf. unter Zuhilfenahme optischer Hilfsmittel, durchgeführt. Die Füllstoffverteilung wird anhand von Mikrotomschnitten beurteilt.

Die Anforderungen nach Abschnitt 3.3.1 sind einzuhalten.

6.5.2. Maßprüfung

Die Prüfung der Wanddicken erfolgt z. B. durch eine Ultraschallmessung oder durch Aufschneiden des Kompensators und Messen mit einem Messschieber.

Die Anforderungen nach Tabelle 3 und 4 müssen eingehalten werden.

6.5.3. Prüfung der elektrostatischen Aufladbarkeit

Die Beurteilung der elektrostatischen Aufladbarkeit erfolgt an Hand der Messung des Oberflächenwiderstandes des einbaufertigen Bauteils. Die Messung des Oberflächenwiderstandes und des Ableitwiderstandes ist nach DIN IEC 60093 und DIN IEC 60167 mit Elektrodenanordnung A durchzuführen. Als Meßspannung muss 100 V oder 1.000 V Gleichspannung verwendet werden. Der Prüfbericht ist nach DIN IEC 60093 und DIN IEC 60167 zu erstellen. Die Messung des Ableitwiderstandes ist nach DIN EN 1081 mit 100 V Gleichspannung durchzuführen.

6.5.4. Baumusterprüfung von PTFE-Kompensatoren

Zum Nachweis der Langzeitfestigkeit sind Zeitstandinnendruckprüfungen durchzuführen. Dabei ist folgendermaßen vorzugehen: Es wird eine Zeitstandinnendruckprüfung an Kompensatoren der Nennweite DN 80 bei 150 °C über einen Zeitraum von mindestens einem Jahr durchgeführt. Aus den Ergebnissen dieser Prüfung wird eine Zeitstandkurve erstellt und auf 20 Jahre extrapoliert. Für die anderen Nennweiten muss punktuell (3 Prüfpunkte) geprüft werden, ob die Werte auf oder oberhalb dieser Kurve liegen. Ist dies nicht der Fall, muss für die betreffende Nennweite die Kurve des DN 80-Kompensators parallel so verschoben werden, dass die 3 Prüfpunkte auf bzw. oberhalb dieser Kurve liegen. Dieser Analogieschluss darf nur für Nennweiten gezogen werden, die nach dem gleichen Verfahren wie die geprüften Kompensatoren DN 80 gefertigt werden. Bei anderen Fertigungs- oder Konstruktionsvarianten muss eine neue Zeitstandkurve mittels Innendruckprüfung ermittelt werden.

6.5.5. Wechselbelastungen

Allgemeingültige Bedingungen für eine Lastwechselprüfung festzulegen ist sehr aufwändig, da hinreichende Erfahrungen fehlen. Daher ist ein geeigneter Nachweis im Bedarfsfall zwischen Hersteller und Bedarfsträger zu vereinbaren.

7. Verpackung, Lagerung, Transport

Die Kompensatoren sind an den Dichtflächen mit steifen Deckeln vom Hersteller zu verschließen. Die Deckel sollen erst unmittelbar vor der Montage entfernt werden.

Die Kompensatoren sollen bis zur Verwendung in der Originalverpackung gelagert werden. Folgende Vorgaben sind einzuhalten:

- Lagerung auf ebener Fläche.
- Kompensatoren nicht aufeinander stapeln.
- Kompensatoren nur vollständig entleert, getrocknet und vor Frost geschützt lagern, da Eisbildung im Kompensator diesen zerstören kann.
- Kompensatoren vor Eindringen von Wasser, Schmutz und Beschädigungen schützen.
- Kompensatoren vor direkter Sonneneinstrahlung und erhöhten Temperaturen schützen.

8. Kennzeichnung

Die Kompensatoren werden vom Hersteller mit CE-Kennzeichnung, EG-Konformitätserklärung und Betriebsanleitung geliefert. Jeder Kompensator ist dauerhaft und deutlich wie folgt zu kennzeichnen:

- CE-Kennzeichnung soweit gemäß DGRL erforderlich
- Zeichen des Herstellers der Auskleidung
- Nennweite
- Baulänge
- Nenndruck (Flansch)
- Maximal zulässiger Druck bei 20 °C
- Kurzzeichen des Auskleidungswerkstoffes
- Herstelldatum

Bei Lieferung mit Abnahmeprüfzeugnis nach DIN EN 10204 gilt zusätzlich für die Flansche:

- Schmelzenummer oder Kurzzeichen
- Zeichen des Prüfers (Abnahmebeauftragter Werksachverständiger)

Die Kennzeichnung muss im eingebauten Zustand deutlich lesbar sein.

9. Betrieb

9.1. Bestimmungsgemäße Verwendung

Der Kompensator darf nur innerhalb der auf der Zeichnung, dem Fabriketikett, der technischen Dokumentation und der Betriebsanleitung genannten Einsatzgrenzen und im einwandfreien Zustand eingesetzt und betrieben werden.

Die Temperatur-/Druckdiagramme zur Bestimmung der minimal/maximal zulässigen Betriebsdrücke und Betriebstemperaturen, sowie die zulässigen Ausgleichsbewegungen sind dem Produktkatalog zu entnehmen und zu beachten.

Kompensatoren können bestimmungsgemäß in begrenztem Umfang Kräfte aus der Leitung bzw. Anlage absorbieren oder diese übertragen. Sie sind jedoch nicht dafür ausgelegt, Torsionskräfte zu übertragen.

Bei chlor- und chloridhaltigen Medien (z.B. Salzsäure) sind die Stützringe aus nichtrostendem Stahl 1.4571 ungeeignet. In diesem Fall ist die Auswahl des geeigneten Kompensators mit dem Hersteller abzustimmen.

PTFE ist nicht beständig gegen Chlortrifluorid, Monomere wie Buten oder Styren können aufgrund von Permeation und Autopolymerisation kritisch sein. Die Eignung des Kompensators für den spezifischen Einsatz sowie die Beständigkeit gegenüber den eingesetzten Betriebsmedien sind im Zweifelsfall vom Betreiber mit dem Hersteller abzuklären.

Jegliche Abweichung hiervon, insbesondere Überschreitung des min./max. zulässigen Drucks, der min./max. Temperatur oder der Verwendung von nicht genehmigten Betriebsmedien kann zum Versagen des Bauteils und somit zu schwerwiegenden Personen- oder Sachschäden führen und bedarf deshalb der schriftlichen Zustimmung durch den Hersteller.

9.2. Verbotene Handlungen

Folgende Handlungen können zu schweren Unfällen führen und sind deshalb verboten:

- Arbeiten an unter Druck bzw. im Betrieb sich befindenden Kompensatoren.
Der Kompensator ist vorher außer Betrieb zu nehmen, drucklos zu machen, abzukühlen und zu dekontaminieren.
- Veränderung der spezifizierten Betriebsbedingungen
Modifizieren des Kompensators inklusive Entfernen oder Hinzufügen von Komponenten sowie mechanischer oder schweißtechnischer Bearbeitung.

9.3. Restgefahren

Um Gefahren für den Benutzer oder Beschädigungen an den Kompensatoren zu vermeiden, dürfen die Kompensatoren nur für ihre bestimmungsgemäße Verwendung und in sicherheitstechnisch einwandfreiem Zustand eingesetzt werden. Sicherheitsvorkehrungen gegen die Auswirkungen eines möglichen externen Feuers sind nicht Teil der Konstruktion und müssen im Notfall vom Betreiber festgesetzt werden.

Sicherheitsvorkehrungen in ATEX-Anlagen

Der Betreiber muss prüfen, ob Betriebszustände im Kompensator auftreten können, die eine elektrostatische Aufladung hervorrufen könnten und ob in einem solchen Fall die Funkenentladung ein Sicherheitsproblem darstellt. Ggf. ist dann ein Kompensator aus antistatischem (elektrostatisch ableitendem) PTFE im Sinne der DIN 2874 und mit geeigneten Erdungselementen zu verwenden.

9.4. Störungen

Betriebsstörungen können unzulässige Betriebszustände hervorrufen, die den Kompensator zerstören können, z. B.:

- Druckstöße
- Thermoschocks
- Unzulässige Zusammensetzung der Stoffströme
- Ablagerung von Feststoffen
- Einfrieren des Kompensators
- Druck- oder Temperaturüberschreitung
- Unzulässige Spannungsübertragung aus der Rohrleitung auf den Kompensator

Deshalb:

- Einrichtungen vorsehen, die sicherstellen, dass auch bei Betriebsstörungen unzulässige Betriebszustände am Kompensator vermieden werden.
- Die folgenden Maßnahmen zur Vermeidung unzulässiger Betriebszustände bei gegebenen Betriebsstörungen beachten.

Hinweis:

Die nachfolgend aufgeführten Störungen stellen eine Auswahl möglicher bekannter Störungen dar. Darüber hinausgehende Störungen können sich aus dem Zusammenhang mit der Anlagenkonzeption bzw. mit dem gelieferten PTFE-Bauteil inklusive aller Einbauten ergeben. Es obliegt der Verantwortung des Betreibers die aufgeführten Störungen samt Ursachen und Hinweisen zur Abhilfe im Zusammenhang mit der Anlagenkonzeption zu überprüfen, ggf. zu korrigieren, zu ergänzen und geeignete Gegenmaßnahmen inklusive einer sofortigen Außerbetriebnahme festzulegen.

Achtung:

Bei nachfolgenden Abhilfemaßnahmen bzw. Arbeiten am Bauteil selbst, ist das Bauteil außer Betrieb zu nehmen, drucklos zu machen, abzukühlen und zu dekontaminieren.

Störung	Ursache	Abhilfe
Medium tritt an Flanschverbindung aus	Drehmoment nicht angepasst	Drehmoment zu gering: Schrauben mit definiertem Drehmoment nachziehen. Drehmoment zu hoch: zusätzliche Dichtung verwenden und mit angepasstem Drehmoment anziehen.
	Flansche nicht exakt gesetzt oder Flanschanschluss nicht spannungsfrei	Flanschverbindungen korrekt montieren.
	Dichtungsflächen oder Dichtungen beschädigt oder verschmutzt	Dichtungsflächen säubern und auf Schäden überprüfen. Bei beschädigter Auskleidung oder Korrosion an Stahlteilen Kompensator austauschen. Bei beschädigten Dichtungen, Dichtungen erneuern.
Beschädigter PTFE Balg	.	Service Partner hinzuziehen
Korrosion an Stahlteilen	Leckage	Leckageursache ermitteln, geeignete Maßnahmen zur Leckagebehebung treffen. Kompensator ggf. austauschen.

9.5. Spritzschutz

Kompensatoren stellen in einem Rohrleitungssystem die schwächste Komponente dar. Aus diesem Grund wird die Verwendung von Spritzschutzsystemen, z.B. Spritzschutzmanschetten aus medienbeständigem Material empfohlen.

Bei Verwendung reizender bzw. ätzender Stoffe wird die Verwendung von Spritzschutzvorkehrungen an Flanschverbindungen im Merkblatt M004 der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI) vorgeschrieben.

Spritzschutzmanschetten sind in unterschiedlichen Ausführungen erhältlich. Transparente Materialien oder integrierte Indikatorstreifen ermöglichen dabei eine sehr gute visuelle Inspektion und frühzeitige Erkennung möglicher Gefahren.

Frühere Ausgaben

keine

Mitglieder der Fluoropolymergroup:



www.dyneon.com



www.elringklinger.com



www.fietz.com



www.heutecomp.de



www.kudernak.de



www.k-u-w.com



www.sglgroup.de



www.berghof.com



Fluorkunststoffe
www.teku-gmbh.de



www.3p-plastiquesperformants.com



www.ptfe-nuenchritz.com



www.bohlender.de



www.fps-solutions.de



www.gts-seals.de