

5. Auslegung von elastomeren Dichtungen

Der zu verwendende O-Ring-Werkstoff hat einen Einfluss auf das Nutdesign.

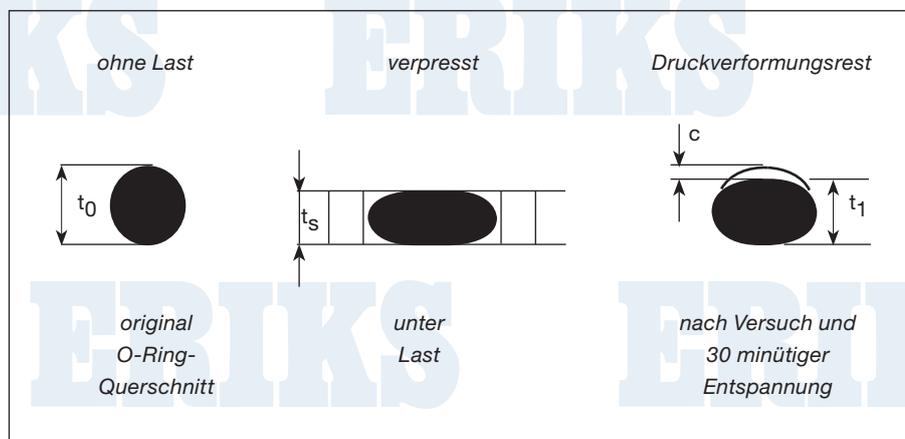
Es ist daher bei der Dichtungsauslegung besonders wichtig, den Werkstoff früh zu bestimmen. Der Einsatzfall legt den Elastomer-Compound fest; dabei sollte die Medienbeständigkeit an erster Stelle stehen. Allerdings muss das Elastomer auch gegenüber einer möglichen Extrusion beständig sein, wenn es mit dem maximal möglichen Druck beaufschlagt wird. Darüber hinaus sollte die Beibehaltung von guten physikalischen Eigenschaften über den gesamten Temperaturbereich sichergestellt sein. Dieses Kapitel behandelt die weiteren Merkmale, die für ein Funktionieren der Dichtung berücksichtigt werden müssen, wie den Druckverformungsrest, die Härte, die Zugfestigkeit, die chemische Beständigkeit, die thermischen Auswirkungen, den Druck sowie die Gefahr von Extrusion. Hier finden Sie Daten und Verfahren die es Ihnen ermöglichen, spezielle Anforderungen an die Dichtung zu erkennen oder die maximale Leistung aus einer Dichtung herauszuholen.

Druckverformungsrest und Verpressung

Der Druckverformungsrest ist die prozentuale Verformung, die ein Elastomer nach einer festgelegten Zeit bei festgelegter Temperatur und definierter Verpressung dauerhaft zurückbehält. Der Druckverformungsrest ist ein besonders wichtiger Dichtungsfaktor, da er ein Maßstab für den zu erwartenden Verlust an elastomerer Rückstellkraft ist. Der Druckverformungsrest wird in der Regel in trockener Luft ermittelt und misst den prozentualen Anteil vom ursprünglichen Querschnitt. Obwohl es wünschenswert ist, einen möglichst geringen Druckverformungsrest zu haben, ist es in einigen Fällen nicht so kritisch, wie es zuerst erscheint: Wenn zum Beispiel planmäßige Wartungsarbeiten einen Ersatz der Dichtung fest vorsehen. Darüber hinaus kann ein O-Ring, der einen Druckverformungsrest von 100% aufweist, immer noch abdichten. Vorausgesetzt der Systemdruck und die Temperaturen bleiben gleich und keine Bewegung oder sonstige Kraft unterbricht den Kontakt des O-Rings mit den abzudichtenden Flächen. Darüber hinaus kann eine Volumenquellung, ausgelöst durch den Kontakt des O-Rings mit dem abzudichtenden Medium, den Druckverformungsrest ausgleichen. Der Zustand, der dabei allerdings am meisten gefürchtet werden muss, ist das Vorhandensein eines hohen Druckverformungsrests und einer chemischen Schrumpfung des O-Ringes. Dies wird zu einem Ausfall der Dichtung führen; es sei denn, die Dichtung wurde außerordentlich stark verpresst.

Der Druckverformungsrest wird folgendermaßen berechnet:

$$C = \frac{t_0 - t_1}{t_0 - t_s} \times 100 \%$$



Darstellung des Druckverformungsrests

5. Auslegung von elastomeren Dichtungen

Ein geringer Druckverformungsrest kennzeichnet eine gute dauerhafte Dichtfunktion. Der Druckverformungsrest erhöht sich allerdings mit zunehmender Temperatur und Zeit.

Für O-Ringe sollte die minimale Verpressung ungefähr 10% betragen. Der Grund dafür ist, dass nahezu alle Elastomere bei einer sehr geringen Verpressung schnell Ihre elastomeren Rückstellkräfte verlieren und einen Druckverformungsrest von 100% erlangen.

Ein Compound mit einer guten Widerstandsfähigkeit gegenüber bleibender Druckverformung kann sich nur gegenüber einem schlechten auszeichnen, wenn die Verpressung über circa 7% liegt.

Die meisten O-Ring-Anwendungen können bei einer derartig geringen Verpressung nicht funktionieren, mit Ausnahme von berührungslosen Dichtungsauslegungen in speziellen Pneumatik- und Rotationsanwendungen.

Die geläufigsten Normen zur Ermittlung des Druckverformungsrests sind die DIN 53517 und ASTM D 395. Die Tabelle 3A-1a beinhaltet die Werte des Druckverformungsrests der ERIKS Standard-Compounds (nach 25%iger Verpressung).

Hinweis:

Bitte beachten Sie, dass sich der Wert des Druckverformungsrests im Laufe der Zeit ändert und von der O-Ring-Schnurstärke abhängig ist. Die rechtsstehende Tabelle zeigt Ihnen diese Unterschiede anhand ermittelter Werte eines gleichen Compounds auf.

Tabelle 3A-1a

Compound	Härte °IRHD ± 5°	Druckverformungsrest 22h/100°C, 25%, auf O-Ring mit 3,53mm Schnur	Temperaturbereich	
			°C	°F
NBR 36624	70	max. 20%	-30+120	-22+248
NBR 47702	90	max. 30%	-30+120	-22+248
EPDM 55914	70	max. 30%	-50+120	-58+248
EPDM 55914 PC	70	max. 25% (150 °C)	-50+150	-58+302
Silikon 714177	70	max. 40% (200 °C)	-60+220	-76+428
Neoprene 32906	70	max. 25%	-35+110	-31+230
Viton® schwarz 51414	75	max. 18% (200 °C)	-20+200	-4+392
Viton® grün 51414	75	max. 19% (200 °C)	-20+200	-4+392
Viton® schwarz 514320	90	max. 18% (200 °C)	-20+200	-4+392
X-Ringe aus NBR, FKM, EPDM	70/90	-	-30+120	22+248

NBR 36624 O-Ringe

Schnurstärke in mm	1,78	3,53	6,99
Druckverformungsrest, 22h/100°C (212°F)	14,8	12,8	9,2
Druckverformungsrest, 70h/100°C (212°F)	23,9	22,7	16,8

5. Auslegung von elastomeren Dichtungen

O-Ring Härte

Die Härte des O-Rings ist aus verschiedenen Gründen wichtig.

Je weicher das Elastomer, desto besser passt sich dieses an die abzudichtende Oberfläche an und desto weniger Kraft ist notwendig, eine ausreichende Verpressung und somit Dichtwirkung zu erreichen. Dies ist besonders wichtig für Abdichtungen bei besonders geringen Drücken, die keine zusätzliche Dichtkraftverstärkung durch den Druck des Mediums erhalten.

Je weicher das Elastomer, desto höher ist der Reibungskoeffizient. In dynamischen Anwendungen sind jedoch die tatsächlichen Werte der Gleitreibung und Haftreibung eines härteren Compounds mit geringem Reibungskoeffizient höher. Dies resultiert aufgrund der deutlich höheren Kraft, die zur Verpressung des härteren Materials in der O-Ring-Nut notwendig ist.

Je weicher das Elastomer, desto größer ist die Gefahr der Extrusion des Werkstoffes in den Dichtspalt zwischen den abzudichtenden Bauteilen. Härtere Compounds bieten eine bessere Widerstandsfähigkeit gegenüber diesem Fließen.

Mit einer Erhöhung der Einsatztemperatur wird ein Elastomer zunächst weicher und dann unter Umständen härter, da der Vernetzungsprozess mit Temperaturerhöhung fortlaufen kann.

Die Härte der meisten Elastomere wird mittels eines Messgeräts des Herstellers Shore Instrument Company oder ihm entsprechend bestimmt. Elastomere werden in der Regel nach der Shore „A“ Skala gemessen. Eine Shore A-Härte von 35° ist sehr weich; 90° ist hart. Shore „D“-Messgeräte werden für Elastomere empfohlen, die eine Härte von über 90° Shore A aufweisen. Die geläufigsten Normen über die Bestimmung der Härte sind die DIN 53505, ASTM D 2240, ISO 7619 und BS 2719. Diese Normen definieren ein Messinstrument, welches auf einem Normteil mit 6mm (0,25“) Stärke misst. Verwenden Sie für eine Härtebestimmung nach Shore A immer Standard-Härtemessscheiben mit einem

Durchmesser von 32mm (1,28“) sowie einer Stärke von 6mm (0,25“) oder eine Prüfplatte der Abmessung 150 x 150 x 2mm (6 x 6 x 0,075“).

Es ist nahezu unmöglich, zuverlässige und reproduzierbare Härtemessungen an Dichtungen mit gekrümmten Oberflächen und unterschiedlichen Querschnitten wie O-Ringen durchzuführen. Dieses Problem plagte die Dichtungsindustrie seit Jahren und wurde in einigen Prüfnormen anerkannt. Wie zum Beispiel der Paragraph 6.2.1 der ASTM D 2240-00 aussagt: „Eine geeignete Härtebestimmung kann mit dem Messdorn nicht auf einer unebenen oder groben Kontaktstelle durchgeführt werden“.

Ebenso stellt die amerikanische Militär-Norm MIL-P-5510B, Paragraph 4.4.2 fest: „Prüfmuster für den Zweck der Prüfung von Fertigungslosen sollen aus einem formgepressten Härteprüfkörper aus minimal 0,25“ Stärke und 1“ Durchmesser (6mm Stärke und 25mm Durchmesser) bestehen. Diese Norm bestätigt in einem Hinweis, dass „die Härte nicht an tatsächlichen Dichtungen bestimmt werden soll“. Für Probekörper, die zu dünn oder eine zu geringe Fläche für eine korrekte Shore A-Messungen bieten, ist die häufigst empfohlene Methode der so genannte Wallace Micro-Härtetest. Messungen in Micro-IRHD sind für O-Ringe präziser.

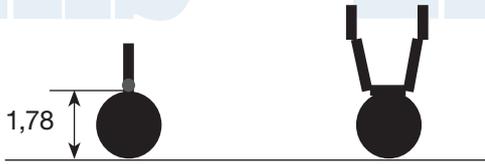
Diese Messmethode wird unter anderem in den Normen DIN 53519 und ASTM D 1415 behandelt. Die Unterschiede zwischen IRHD- und Shore A-Messwerten auf einem 6mm starken Muster sind unerheblich.

Normalerweise werden Härtegrade in Schrittweiten von fünf oder zehn, wie zum Beispiel in 60°, 70°, 75° usw. und nicht als 62, 66 oder 72 benannt. Dieses Verfahren basiert auf der Tatsache, dass die Härte in Normen generell mit einer Toleranz von ± 5 aufgeführt wird. Dies beruht auf die innewohnenden Abweichungen von Charge zu Charge eines bestimmten Elastomer-Compounds durch seinen geringfügigen Unterschiede der Rohmaterialien sowie der Fertigungsprozesse, als auch auf Schwankungen, die bei Härtemessungen entstehen können.



5. Auslegung von elastomeren Dichtungen

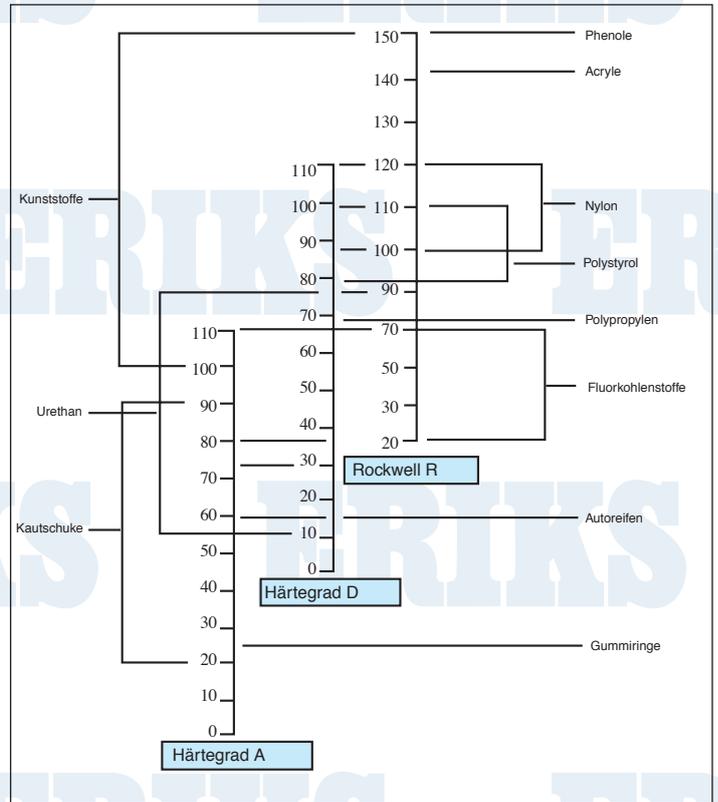
IRHD und Shore A



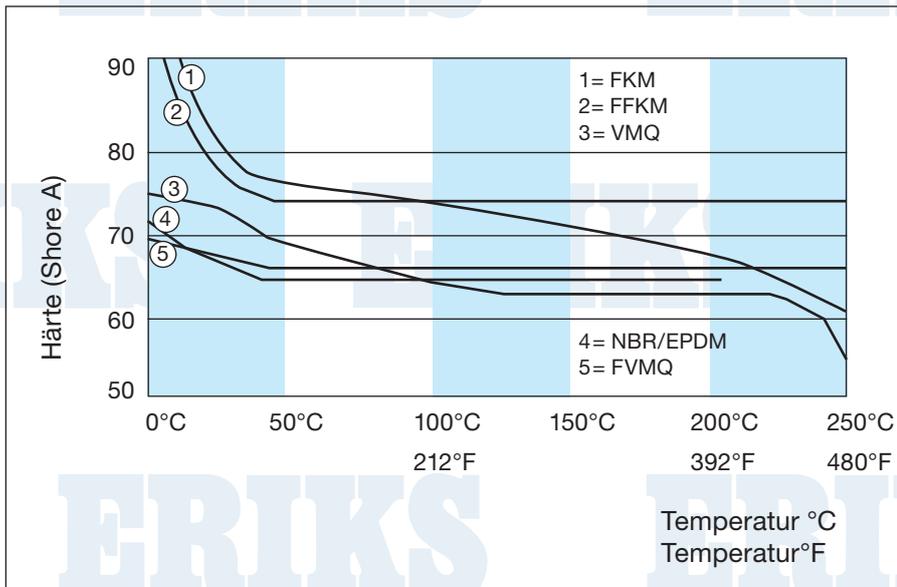
IHRD-Micro
DIN 53 519 Teil 2
Norm : 2 mm Platte
Dauer : 30 sek.

Shore A
DIN 53 505
Norm : 6 mm Platte
Dauer : 3 sek.

Härtebereiche Kautschuke/Kunststoffe



Härte im Vergleich zur Temperatur



5. Auslegung von elastomeren Dichtungen

Zugfestigkeit und Reißdehnung

Die Zugfestigkeit ist die Messung der Kraftmenge, die für das Zerreißen eines elastomeren Prüfkörpers benötigt wird. Sie ist ein gutes Mittel zur Überwachung der Compoundierung, so dass eine gleichbleibende Mischung des Compounds sichergestellt werden kann sowie ein nützlicher Indikator zur Bestimmung des zu erwartenden Schadens des Compounds, nachdem er über einen langen Zeitraum mit einem Medium im Kontakt war. Wenn eine deutliche Veränderung der Zugfestigkeit auftritt, könnte die Lebensdauer einer Dichtung relativ gering ausfallen. Ausnahmen dieser Regel können auftreten.

Unter Reißdehnung versteht man den Prozentsatz der anfänglichen Länge zu dem Zeitpunkt des Reißens eines elastomeren Körpers. Diese Eigenschaft bestimmt in erster Linie die Dehnung, die bei dem Einbau einer Dichtung angewandt werden kann. Eine nachteilige Änderung der Reißdehnung eines Compounds nach dem Einwirken eines Mediums ist ein eindeutiges Zeichen einer Verschlechterung des Materials. Die Reißdehnung wird, wie auch die Zugfestigkeit, von der Industrie als ein Prüfmittel von Compound-Fertigungschargen verwendet.

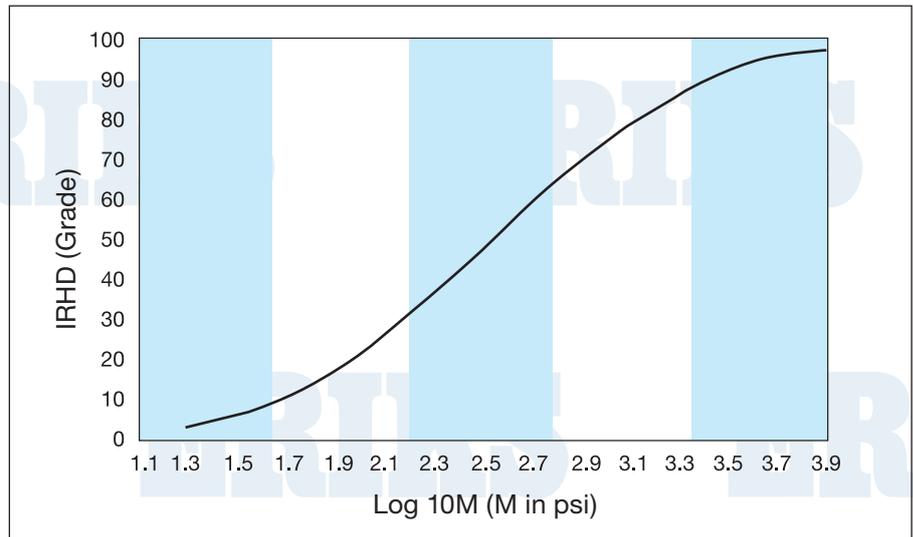
Prüfungen der Zugfestigkeit und Reißdehnung werden an hantelförmigen Mustern durchgeführt. Diese werden maschinell bei einer konstanten Geschwindigkeit von 500 Millimeter pro Sekunde axial auseinandergezogen, während die zur Dehnung der Muster notwendige Kraft aufgezeichnet wird.

Normen zur Prüfung der Zugfestigkeit und Reißdehnung sind zum Beispiel die DIN 53505, ASTM D 412 und BS 903 Teil A3.

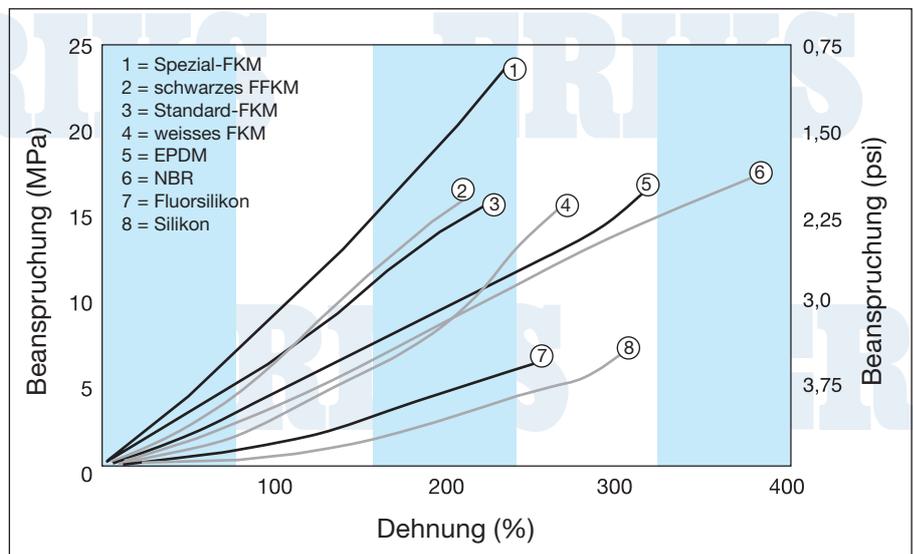
Modul

Der Modul, wie er von der Kautschuk-Industrie verwendet wird, bezieht sich auf die Spannung, die bei einer vorher festgelegten Dehnung von normalerweise 100% vorherrscht. Er ist ein gutes Mittel für den Vergleich verschiedener Elastomere hinsichtlich deren Extrusionswiderstandsfähigkeit. Für gewöhnlich steigt der Modul mit zunehmender Härte. Der Modul ist wahrscheinlich der beste Indikator

der inneren Kraft eines Compounds; vorausgesetzt alle anderen Faktoren sind gleich.



Härte (IRHD) im Vergleich zu Young's Modul (M)



Beanspruchung im Vergleich zur Dehnung

5. Auslegung von elastomeren Dichtungen

Zugspannung/-dehnung

Die Zugfestigkeit ist die maximale Spannung, die bei der Dehnung eines Teststückes (entweder ein O-Ring oder ein hantelförmiger Streifen) erreicht wird. Reißdehnung: Die Dehnung oder Reißdehnung ist die Summe der Ausdehnung zum Augenblick des Reißens.

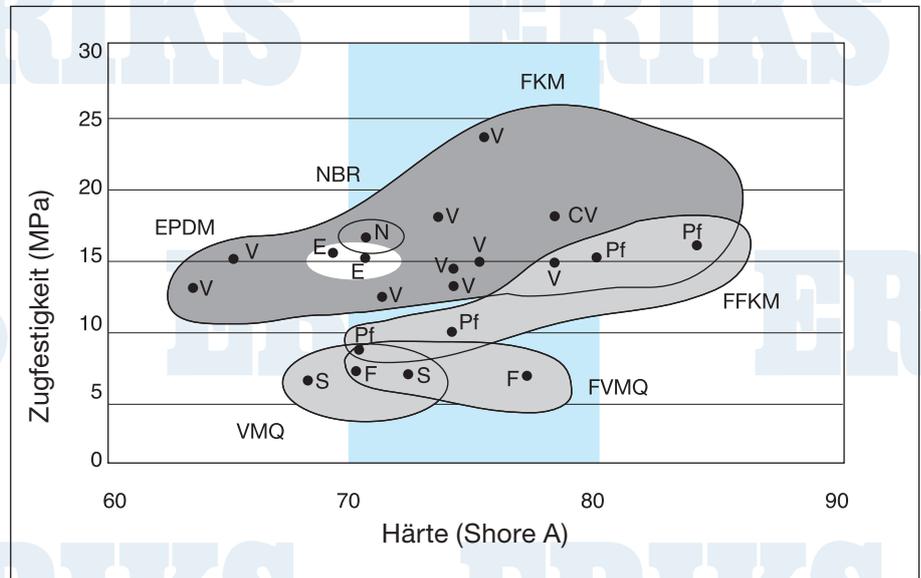
Modul: (auch genannt „Modul 100“) Ist die Kraft, die zum Erreichen einer bestimmten Dehnung benötigt wird. Im Falle von Modul 100 wäre dies die notwendige Kraft, ein Muster um 100% zu dehnen.

Bei Elastomeren ist die notwendige Spannung nicht linear mit der Dehnung. Dadurch ist der Modul weder ein Quotient, noch eine konstante Steigung dieser – sondern vielmehr eine Kennzeichnung eines spezifischen Punkts auf der „Spannungs-Dehnungs-Kurve“.

Zugprüfungen werden für die Kontrolle der Produktqualität genutzt, sowie für die Beurteilung der Einwirkung von chemischen und thermischen Einflüssen auf ein Elastomer. Im letzten Fall ist die Beibehaltung seiner physikalischen Eigenschaften oft bedeutender, als die absoluten Werte seiner maximalen Zugspannung, der Reißdehnung oder dem Modul.

Weiterreißfestigkeit

Die Weiterreißfestigkeit oder der Weiterreißwiderstand ist bei den meisten Elastomeren relativ gering. Dieser Test misst die notwendige Kraft um eine Kerbe oder einen Schnitt fortzuführen. Dichtungswerkstoffe mit einer schwachen Weiterreißfestigkeit versagen schnell unter weiterer Beanspruchung sobald ein Riss entsteht. Eine geringe Weiterreißfestigkeit eines Compounds ist darüber hinaus Hinweis für eine schlechte Abriebsbeständigkeit, welche wiederum zu einem frühzeitigen Versagen eines O-Rings im dynamischen Einsatz führen kann.



Volumenänderung

Die Volumenänderung ist die Zu- oder Abnahme des Volumens eines Elastomers, nachdem es mit einem Medium im Kontakt war. Sie wird als Prozentsatz benannt. Zunahme durch Quellung oder Abnahme durch Schrumpfung des Volumens geht nahezu immer mit einer Änderung des Gewichts einher.

Eine Volumenquellung wird durch die Aufnahme eines gasförmigen oder flüssigen Mediums vom O-Ring verursacht. In statischen Anwendungen kann manchmal sogar eine extreme Volumenquellung toleriert werden. Tatsächlich kann ein O-Ring nur bis zu einer 100%igen Füllung der Nut aufquellen, so dass keine weitere Zunahme des Volumens möglich ist. Gleichgültig, wie viel Volumenquellung in einem Tauchversuch festgestellt wurde. Wenn die Quellung im freien Zustand 50 Prozent übersteigt, kann jedoch eine radial verpresste Baugruppe aufgrund der entstandenen Reibung nahezu unmöglich auseinander zu bauen sein.

In dynamischen Anwendungen ist eine Volumenquellung von bis zu 15 oder 20 Prozent für gewöhnlich akzeptabel. Höhere Verpressungen führen allerdings zu einer starken Zunahme der Reibung und einer Abnahme der Belastbarkeit und des Abriebwiderstandes bis zu dem Punkt, an dem der Gebrauch eines bestimmten Werkstoffes unmöglich wird.

Volumenschrumpfung wird oft von Medien verursacht, die Weichmacher aus dem elastomeren Compound entziehen. Eine Volumenabnahme wird üblicherweise von einer Zunahme der Härte begleitet. Genauso wie eine Quellung den Druckverformungsrest ausgleicht, intensiviert eine Volumenschrumpfung den Effekt des Druckverformungsrests. Dies bewirkt ein Wegziehen des O-Ringes von den abzudichtenden Oberflächen – Leckageweg entsteht. Es ist daher offensichtlich, dass ein chemisches Schrumpfen weitaus kritischer zu betrachten ist, als chemische Quellung. Mehr als 3 oder 4 Prozent Schrumpfung kann ein ernsthaftes Problem für dynamische O-Ring-Abdichtungen sein.

5. Auslegung von elastomeren Dichtungen

Chemische Beständigkeit

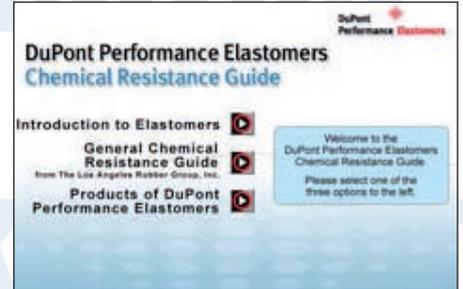
Der „Chemical Resistance Guide“ der Firma DuPont Performance Elastomers ist als Unterstützung für den Nutzer gedacht, die Einsetzbarkeit einer Vielzahl von Elastomeren in vielen verschiedenen Chemikalien zu bestimmen. Die darin enthaltenen Bewertungen basieren auf einer Kombination aus veröffentlichter Literaturangaben, Laboruntersuchungen, tatsächlichen Praxiserfahrungen und Experten-schätzungen. ERIKS verwendet den DuPont Performance Elastomers Chemical Resistance Guide.

Hinweis: die Volumenquellung ist nur ein Indikator zur Bestimmung der chemischen Beständigkeit von Elastomeren und basiert nur allein auf die Einflussgröße „Löslichkeit“. Ein chemischer Angriff auf die Polymerkette kann sich auch durch eine Änderung der physikalischen Eigenschaften, wie der Zugfestigkeit, Reißdehnung oder Härte auszeichnen.

Erhöhte Temperaturen oder eine ausgedehntere Einwirkungsdauer können aggressivere Bedingungen erzeugen. In einigen Fällen können spezielle Compounds der gleichen Werkstoff-familie bessere Beständigkeiten in bestimmten Anwendungen aufwei-sen als andere. Sprechen Sie uns bei weiteren Fragen an oder ziehen Sie den Chemical Resistance Guide von DuPont Performance Elastomers im Internet zu Rate – dort finden Sie die neuesten Informationen.

Elastomere können in chemischen Umgebungen quellen und/oder sich verschlechtern. Dies geschieht durch Reaktionen mit der Polymerkette und dem Vernetzungssystem oder durch Reaktionen mit den Füllstoffen. In der Halbleiterindustrie kann diese Verschlechterung durch eine erhöh-te Verunreinigung und verringerter Standzeit der Dichtung beobachtet werden.

DuPont Performance Elastomers



www.dupontelastomers.com/crg

Bewertungssystem der chemischen Beständigkeit

Bewertung	Beschreibung	Volumen- änderung	Bemerkungen
A	geringer oder kein Einfluss	< 10%	Das Elastomer kann eine geringe Quellung und/oder Verlust von physikalischen Eigenschaften unter harten Bedingungen aufweisen.
B	möglicher Verlust von physikalischen Eigenschaften	10-20%	Das Elastomer kann eine Quellung zusätzlich zu einer Änderung der physikalischen Eigenschaften aufweisen. Für statische Anwendungen möglicherweise einsetzbar.
C	deutliche Änderung	20-40%	Das Elastomer weist eine deutliche Quellung und Änderung der physikalischen Eigenschaften auf. Einsetzbarkeit in den meisten Anwendungen fragwürdig.
U	exzessive Änderung	> 40%	Das Elastomer ist für den Betrieb nicht einsetzbar.

5. Auslegung von elastomeren Dichtungen

Einflussmechanismen: **Chemische Beständigkeit**

- Der Prozess der chemischen Degeneration oder der chemischen Unverträglichkeit ist sehr komplex. Generell kann eine Degeneration der Polymerkette und der Vernetzung auftreten durch:
- Nukleophiler Angriff – Nukleophile sind Ionen oder Moleküle, die Elektronen spenden können. Dies ist der Haupt-Vernetzungsmechanismus. Bei bestimmten Chemikalien kann ein nukleophiler Angriff zu einer Erhöhung des Vernetzungsgrads oder zu einer Versprödung führen.
- Dehydrofluorierung – Bei Fluorelastomeren (FKM) kann der Angriff von aliphatischen Aminen zu ungesättigten Bindungen in der Polymerkette führen.
- Polarer Angriff – eine Quellung, hervorgerufen von elektrostatischen Interaktionen zwischen dem Dipol und der Polymerkette.

Eine Degradation kann darüber hinaus auch durch Reaktionen der chemischen Umgebung mit dem Füllsystem entstehen. Diese Art von Degradation kann durch die Oxidation der Füllstoffe oder des chemischen Angriffs bestimmter Füllstoffe oder Prozesshilfsmittel verursacht werden.

In vielen Anwendungen sollten spezielle Überlegungen in Hinblick auf Verunreinigung oder der Vakuum-Tauglichkeit gemacht werden. Verunreinigungen sind besonders kritisch bei der Halbleiter-Herstellung oder medizinischen Anwendungen. Dies kann in Form von Partikelbildung, extrahierten Ionen oder anderen Restgasverunreinigungen geschehen.

Prüfverfahren:
ISO 1817 (Flüssigkeiten)
ASTM D 471, D 1460, D 3137 (Flüssigkeiten)

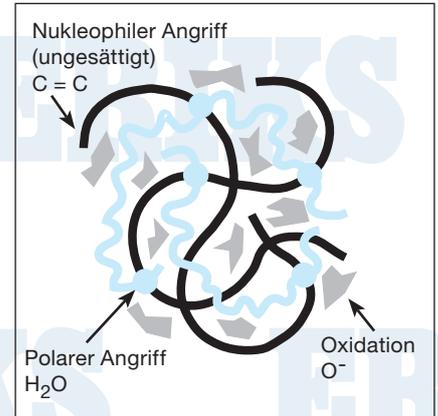
Volumenquellung:
Der geläufigste Maßstab zur Beurteilung der chemischen Beständigkeit ist die Volumenquellung. Die folgende Formel wird zur Auswertung von Messungen der Volumenquellung verwendet. Diese beachtet maßliche Veränderungen in alle drei Dimensionen und ist für die meisten Dichtungsanwendungen präziser als das Ablesen spezifischer Abmessungsänderungen.

Volumenquellung:

$$\text{Volumenquellung (\%)} = \frac{(\text{Gewicht in Luft} - \text{Gewicht in Wasser})_{\text{endgültig}} - (\text{Gewicht in Luft} - \text{Gewicht in Wasser})_{\text{anfänglich}}}{(\text{Gewicht in Luft} - \text{Gewicht in Wasser})_{\text{anfänglich}}} \times 100$$

Hinweis:

Die Messung des „Gewichts in Wasser“ wird durchgeführt, indem man ein Muster in ein Behälter mit Wasser legt und sein Gewicht misst. Dies geschieht unter der Berücksichtigung, dass die Dichte eines Körpers gleich seines Gewichts in Luft, geteilt durch die Differenz aus seinem Gewicht in Luft und seinem Gewicht in Wasser, ist.



Chemische Angriffsmechanismen

5. Auslegung von elastomeren Dichtungen

Thermische Einwirkungen

Jeder Kautschuk unterliegt der Alterung bei hohen Temperaturen. Die Volumenquellung sowie der Druckverformungsrest werden von der Hitze beeinflusst. Die erste Einwirkung von hoher Temperatur ist die, den Compound zu erweichen. Dies ist eine physikalische Veränderung, die wieder zurückgeht, sobald die Temperatur fällt. Bei Hochdruckanwendungen und steigenden Temperaturen kann der O-Ring durch dieses Erweichenden jedoch beginnen, in den Dichtspalt zu fließen. Mit ansteigender Zeit bei erhöhter Temperatur treten chemische Veränderungen auf. Dies führt im Allgemeinen zu einem Anstieg der Härte zusammen mit Änderungen des Volumens und des Druckverformungsrests sowie der Zugfestigkeit und Reißdehnung. Dadurch, dass diese Änderungen chemischer Natur sind, sind sie nicht reversibel. Änderungen, die durch tiefe Temperaturen hervorgerufen werden, sind hauptsächlich physikalischer Natur und daher reversibel. Ein Elastomer wird bei anschließender Erwärmung nahezu alle dessen ursprünglicher Eigenschaften zurückerhalten.

Thermische Ausdehnung

Der lineare thermische Ausdehnungskoeffizient ist der Quotient der Änderung der Länge pro °C oder °F in Bezug auf die ursprüngliche Länge bei 0°C beziehungsweise 0°F. Der volumetrische Ausdehnungskoeffizient von Festkörpern ist ungefähr drei Mal so hoch wie der lineare. Grob geschätzt besitzen Elastomere einen um das 10-fache höheren thermischen Ausdehnungskoeffizienten als Stahl. Bei Fluor- und Perfluorelastomeren ist der thermische Ausdehnungskoeffizient sogar noch höher.

Dies kann bei hohen Temperaturen, wenn die Nut nahezu gefüllt, oder bei tiefen Temperaturen, wenn dadurch die Verpressung besonders gering ist, ein kritischer Faktor sein. Ein Dichtungsversagen kann zur Leckage führen, wenn aufgrund tiefer Temperaturen eine zu geringen Verpressung erreicht wird.

Es gibt bestimmte Reaktionen, die bei bestimmten Bedingungen den O-Ringe dazu führen, hohe Kräfte gegen die Nutseiten auszuüben. Wenn die Dichtung die Nut zu 100% komplett ausfüllt, ist die herrschende Kraft durch die thermische Ausdehnung des Kautschuks bestimmt. Die Nut muss immer ausreichen groß sein, um die maximale Ausdehnung des O-Ringes auffangen zu können. Es gab Anwendungsfälle, bei denen Dichtungen aufgrund deren thermischen Ausdehnung Stahlnuten zerrissen. Als Vorsorge sollte deshalb beachtet werden, dass in keinem Fall der Füllgrad einer Dichtungs-Nut mehr als 95% beträgt. Besonders bei der Auslegung von O-Ring-Nuten für Anwendungen über 150°C (300°F) sollte dies berücksichtigt werden. Bitte setzen Sie sich mit uns für die richtige Auslegung einer O-Ring-Nut in Verbindung.

Thermische Ausdehnung

<i>Werkstoff</i>	<i>Thermische Beständigkeit</i>	<i>x10⁻⁵ / °C</i>
FKM	200°C / 392°F	16
NBR	120°C / 250°F	23
VMQ	230°C / 450°F	59-79
FFKM	300°C / 570°F	23
EPDM	150°C / 300°F	16
Rostfreier Stahl	-	1.04
Aluminium	-	1.3
PTFE	230°C / 450°F	5-8
KEL-F	280°C / 540°F	4-7
Polyimid	275°C / 530°F	5

5. Auslegung von elastomeren Dichtungen

Auswahl der O-Ring-Schnurstärke (CSD)

Im Allgemeinen kann man bei der Auswahl eines O-Ringes von Vorteilen kleiner und großer O-Ring-Schnurstärken profitieren. Einige dieser Vorteile werden unten für beide Fälle aufgeführt.

Bei statischen Anwendungen, in denen keine schnellen hohen Druckschwankungen auftreten, ist es gewöhnlich besser, wenn möglich eine große Schnurstärke zu wählen.

Wie vorher schon erwähnt, sind große O-Ring-Schnurstärken weniger anfällig für Probleme mit einem hohen Druckverformungsrest, Quellung und zufälligen Oberflächenschäden.

Darüber hinaus sind große Schnurstärken stabiler und tendieren nicht zur Verdrehung bei der Montage.

Wenn jedoch die Dichtung schnellen hohen Druckschwankungen ausgesetzt wird, ist es wenn möglich besser, einen möglichst kleinen Schnurdurchmesser zu wählen. Kleinere Schnurstärken sind weniger anfällig für Dekompressions-Probleme.

In dynamischen Anwendungen sollte eine kleine Schnurstärke gewählt werden, um so Probleme mit erhöhter Reibung zu vermeiden. In dynamischen Anwendungen wird die O-Ring-Schnurstärke oft im großen Maße durch die maximale Oberflächengeschwindigkeit bestimmt (siehe Tabelle 2).

Bei dynamischen Anwendungen mit Oberflächengeschwindigkeiten unter 2,03 m/s ist die zu verwendende O-Ring-Schnurstärke für gewöhnlich unbedenklich.

Es gibt darüber hinaus allgemeine Maßstäbe für das Verhältnis von O-Ring-Schnurstärke zum O-Ring-Innendurchmesser. Diese sind wie folgt:

Wenn: $0 > ID \leq 20\text{mm}$ CSD = 1,78 oder größer

Wenn: $20 > ID \leq 100\text{mm}$ CSD = 2,62 oder größer

Tabelle 1 – Eigenschaften von O-Ring-Schnurstärken

Größere Schnurstärken	Kleinere Schnurstärken
stabiler	weniger stabil
mehr Reibung	weniger Reibung
benötigt mehr Platz	benötigt weniger Platz
besserer Druckverformungsrest	dürftiger Druckverformungsrest
weniger Quellung (%)	möglicherweise mehr Quellung
schlechte Dekompression	bessere Dekompression
größere Toleranzen	geringere Toleranzen
weniger empfindlich gegenüber Beschädigung	empfindlich gegenüber Beschädigungen

Tabelle 2 – Schnurstärke und Oberflächengeschwindigkeit (dynamische Dichtungen)

O-Ring-Schnurstärke (mm)	Maximale Oberflächengeschwindigkeit (m/s)
1,78	7,62
2,62	3,04
3,53	2,03

5. Auslegung von elastomeren Dichtungen

Auswahl des O-Ring-Außen- und Innendurchmessers

Bei der Auswahl des O-Ring-Innendurchmessers (oder -Außendurchmessers) sollte zunächst die auf den O-Ring im eingebauten Zustand einwirkende Aufdehnung berücksichtigt werden. O-Ringe und dazugehörige Nuten sollten so bemessen werden, dass sowohl im eingebauten Zustand, wie auch bei Druckbeaufschlagung eine annehmbare Aufdehnung nicht überschritten wird.

Tabelle 3 zeigt für gute Dichteigenschaften notwendige Abmessungen des O-Ringes und der Nut, bezogen auf unterschiedliche Nuttypen.

Bei Flanschabdichtungen mit internem Druck sollte die Dichtungssituation so ausgelegt werden, dass der Außendurchmesser des O-Ringes an den Außendurchmesser der Nut anliegt. Stellen Sie dabei für gute Dichtungseigenschaften sicher, dass der O-Ring-Außendurchmesser nicht größer als der Außendurchmesser der Nut ist. Dies gewährleistet Ihnen den bestmöglichen Sitz der Dichtung und minimiert die Dehnung bei der Montage.

Wenn die Druckrichtung umgekehrt ist (Flanschabdichtung mit externem Druck), sollte der O-Ring-Innendurchmesser an den Innendurchmesser der Nut anliegen. Im Betrieb stellt dies dann sicher, dass der O-Ring bei Druckbeaufschlagung nicht gestaucht wird.

Tabelle 3 – Gemeinsame O-Ring-/Nutabmessungen für einen guten Sitz der Dichtung

<i>Dichtungsart</i>	<i>Druckrichtung</i>	<i>Gemeinsame Dichtungs-/ Nutabmessungen</i>
Flanschdichtung	intern	Außendurchmesser
Flanschdichtung	extern	Innendurchmesser
Quetschnut		Innendurchmesser
Trapeznut		Mittendurchmesser
Stangen-/Kolbendichtung		Innendurchmesser

Bei einer Trapeznut oder einer anderen nicht einheitlich geformten Nut sollte zuerst die Druckrichtung betrachtet und dann überlegt werden, wie man eine Aufdehnung möglichst minimal halten könnte. Bei einem trapezförmigen Querschnitt der Nut sollte die Trapez-Mitte als Basis für die Bestimmung eines geeigneten O-Ring-Innendurchmessers genommen werden. Dies sichert eine einfache Montage und normalerweise eine geringe Aufdehnung.

In keinem Fall sollte die anfängliche Aufdehnung im eingebauten Zustand 3-5% übersteigen.

