

O-Ringe in Heißwasser und Dampf –ein Problem für viele Anwender

Dipl.-Ing. Bernhard Richter, O-Ring Prüflabor Richter

Die Thematik ist von der Praxis vorgegeben. Kaum ein anderes Betriebsmedium verursacht bei O-Ringen mehr Probleme als Wasser oder Dampf beziehungsweise wässrige Verbindungen, insbesondere bei höheren Temperaturen. Daher soll innerhalb dieses Aufsatzes gezielt auf diese Thematik mit praktischen Beispielen eingegangen werden.

Typische Warm- beziehungsweise Heißwasseranwendungen von O-Ringen finden sich beispielsweise in der Kraftwerkstechnik und in der Verfahrenstechnik, z.B. als Nebendichtungen in Gleitringdichtungen von Pumpen. Andere Einsatzbeispiele sind Pumpen , Armaturen und Fittings in der Sanitär - und Heizungstechnik sowie in der Fernwärmeversorgung.

Schadensbeispiele ausgefallener O-Ringe

Anhand der Schadensbilder ausgefallener O-Ringe sollen zunächst die Hauptursachen für den verfrühten Ausfall von O-Ringen in Heißwasser- und Dampf-Anwendungen aufgezeigt werden: Schlechte Rezepturqualität und/oder schlechter Vulkanisationsgrad von EPDM O-Ringen, Bild 1, oder nicht ausreichende Hydrolysebeständigkeit von VMQ/FPM/FEPM oder FFKM- O-Ringen, siehe auch Bilder 2 bis 4.

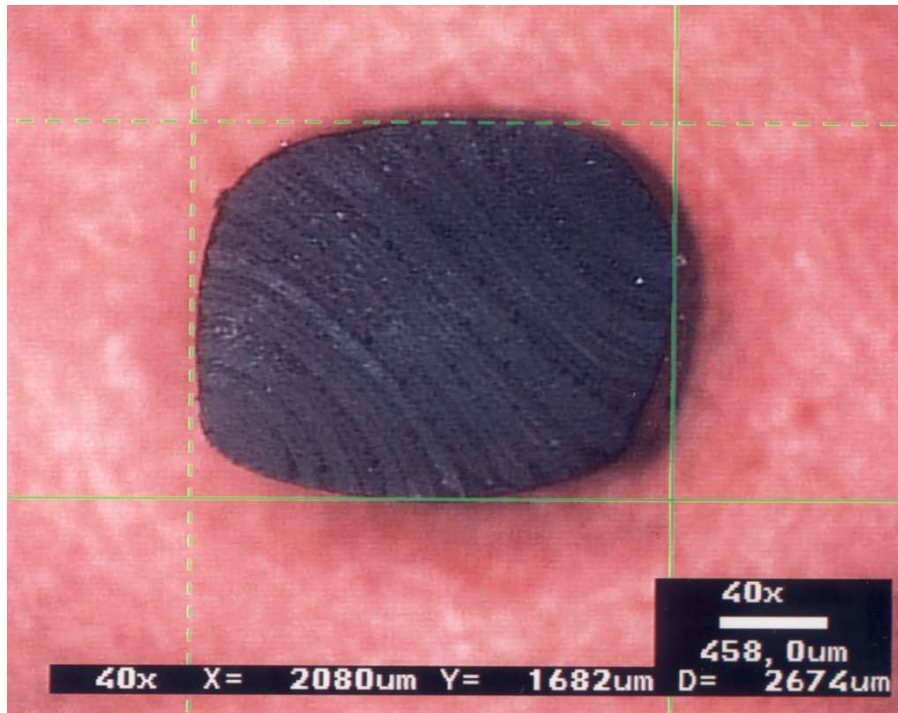


Bild 1: Stark bleibend verformter EPDM O-Ring nach wenigen Monaten Einsatz in einer Heizungsarmatur

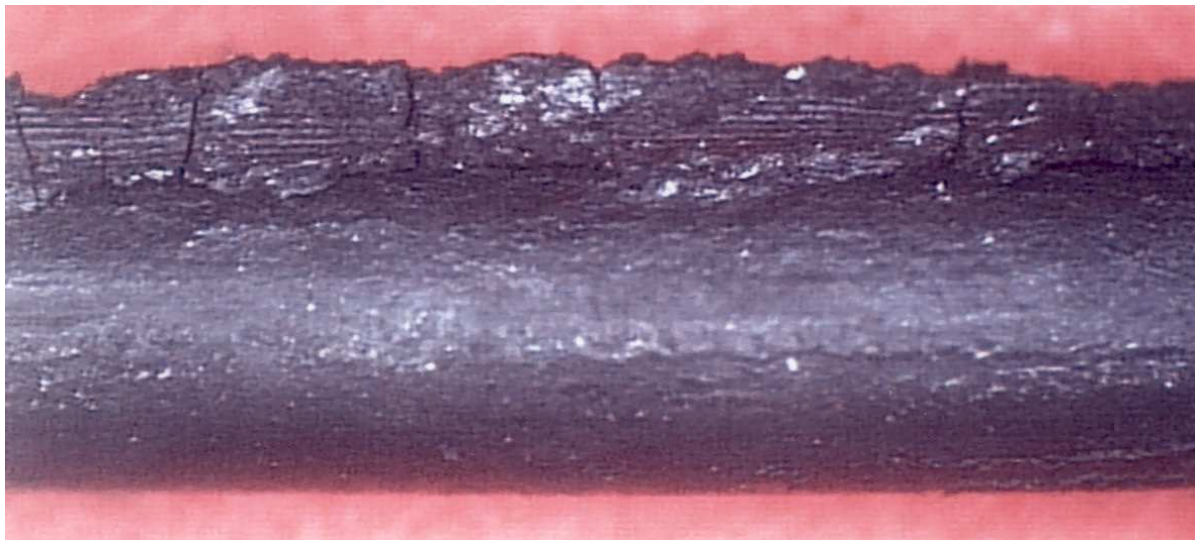


Bild 2: FKM O-Ring nach wenigen Monaten Einsatz bei 130°C, wasserseitig zerstört



Bild 3: FKM O-Ring (Aflas) nach Einsatz von ca. 5 Jahren in einer Armatur eines Fernwärmenetzes bei Heißwassertemperaturen bis zu 170°C (Dreiecksnut)



Bild 4: FKM O-Ring nach wenigen Wochen Einsatz bei 175°C in einem Pressfitting bei 175°C Wassertemperatur.

Diese Bilder belegen, dass die Wirkung von Wasser bei hohen Temperaturen sich sehr stark lebensdauerverkürzend auf die O-Ringe auswirken kann. Daher ist eine sorgfältige Auswahl der O-Ringe bezüglich ihrer Eignung für den betreffenden Ein-

satz erforderlich und die Einbauräume der O-Ringe für den jeweiligen Einsatz zu optimieren.

Elastomerwerkstoffe für Warm- und Heißwasseranwendungen

Definiert man eine Warmwasseranwendungen bei einer zulässigen Dauertemperatur von mindestens 60°C und bezieht man die Lebensdaueranforderungen der Anwender mit ein, so lassen sich folgende Werkstofffamilien für den Heißwassereinsatz, zumindestens für jeweils bestimmte Anwendergruppen, als prinzipiell geeignet bezeichnen:

1. EPM-/EPDM-Elastomere
2. IIR-/CIIR-/BIIR-Elastomere
3. HNBR-Elastomere
4. VMQ-Elastomere
5. FEPM-Elastomere
6. FFKM-Elastomere
7. FKM-Elastomere

Diese allgemeine Angaben werden noch unten weitergehend erläutert. Insbesondere ist zu beachten, dass rezeptur- und fertigungsbedingte Einflüsse allgemeine Aussagen nicht zulassen. Daher sind zur Definition der anwendungstechnischen Eignung von O-Ringen rezepturbezogene Vorgaben erforderlich, welche die Heißwasser- und Alterungsbeständigkeit sowie auch einen angemessenen Vulkanisationsgrad der O-Ringe absichern. Diese beiden Einflussgrößen, nämlich Rezeptur und Vulkanisationsgrad stellen in der Praxis wichtige Einflussgrößen dar, die die Lebensdauer von O-Ringen bestimmen, seitens der Anwender aber vielfach unterschätzt werden.

Nicht aufgeführt sind hier NBR O-Ringe, welche für den Warmwassereinsatz wegen der nicht befriedigenden Langzeitbeständigkeit als unbefriedigend eingestuft werden. Im Folgenden werden nun die oben genannten Werkstoffgruppen in Bezug auf ihre Heißwasserbeständigkeit eingestuft und es werden wichtige rezepturbezogene Einflussgrößen aufgezeigt.

EPDM-/EPM-Werkstoffe

Kein anderer Elastomer-Werkstoff hat in Bezug auf die Heißwasserbeständigkeit ein größeres Potential als EPDM- bzw. EPM-Werkstoffe, siehe Bild 5.

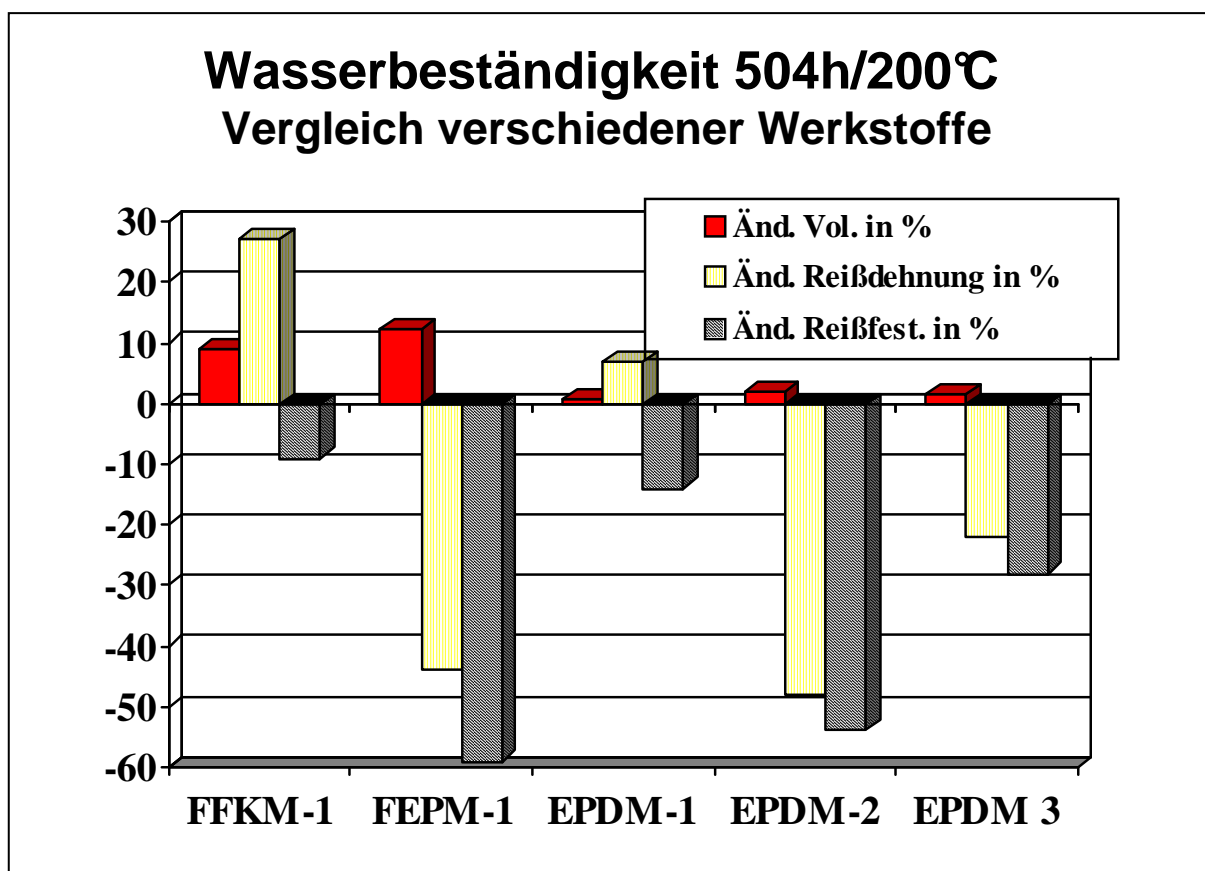


Bild 5: Vergleich der Heißwasserbeständigkeit ausgesuchter Rezepturen bei 200°C

Der untersuchte EPDM-Werkstoff „EPDM-1“ zeigt sogar gegenüber dem geprüften FFKM-Werkstoff, welcher bezüglich der Heißwasserbeständigkeit bereits optimiert ist, ein überlegenes Verhalten. Am besten erkennt man den Grad der chemischen Veränderung in der Polymer- und Netzwerkstruktur eines Gummiwerkstoffes in der Änderung der Reißdehnung und der Zugfestigkeit des Werkstoffes gegenüber sei-

nem Ausgangszustand nach der Einlagerung. Eine geringe Änderung zeigt ein hohes Maß an chemischer Stabilität an, dagegen lässt umgekehrt eine große relative Veränderung auf eine starke Beeinträchtigung der chemischen Struktur des Werkstoffes schließen, was sich am O-Ring zuerst durch eine hohe bleibende Verformung bemerkbar macht.

Gute EPDM-Werkstoffe lassen sich in Heißwasser bis 200°C problemlos einsetzen, solange der freie Zutritt von Sauerstoff verhindert oder zumindestens stark begrenzt wird. Langzeitversuche in Wasser in einem Autoklav über 2000 h bei 200°C an einem Temperatursensor, der mit einem EPDM-O-Ring abgedichtet wurde, haben gezeigt, dass diese O-Ringe nach dem Test noch uneingeschränkt einsetzbar waren. Dagegen zeigen vergleichbare EPDM O-Ringe als Autoklav-Dichtung eingesetzt bereits nach 1000h bei 200°C eine starke bleibende Verformung und auf der Luftseite Spuren eines stattgefundenen Polymerabbaus, der O-Ring hat dann zur Luftseite hin eine rußende Oberfläche und ist deutlich versprödet, während er zur Wasserseite hin noch gummielastisch ist. Der Einsatz von EPDM-Werkstoffen wird daher in der Praxis nicht von der Wasserbeständigkeit sondern von der Heißluftbeständigkeit begrenzt. Dort, wo neben wässrigen Verbindungen zusätzlich noch mineralölbasische Medien auf den O-Ring treffen können, scheidet EPDM als Dichtungswerkstoff aus, und es muss auf mineralölbeständige Polymere ausgewichen werden.

Unterschiede an EPDM O-Ringen

Bei keiner anderen Elastomer-Familie ist der Freiheitsgrad bezüglich Rezepturgestaltung größer als bei EPDM-Werkstoffen: Eine große Rolle spielt die Polymerarchitektur (Ethylengehalt von 40 bis 90% und Diengehalt 0 bis 8% möglich), das Vernetzungssystem (schwefel- oder peroxidisch vernetzt) und der Weichmachergehalt (0 bis über 30% möglich), der Zusatz von Alterungsschutzmitteln kann die Wärmebeständigkeit darüber hinaus noch weiter verbessern.

Bereits zwei einfache Kurzzeit-Tests an EPDM O-Ringen, nämlich der Druckverformungsrest nach 24h/150°C und die Härtezunahme nach Hitzealterung bei 70h/150°C können wesentliche Unterschiede an EPDM O-Ringen aufzeigen. So ergeben hier optimal vulkanisierte O-Ringe mit einer guten Rezepturqualität Druckverformungsrest-Werte unter 20%, auch Werte bis zu 30% können noch als gut bezeichnet werden. Als schlecht beziehungsweise nicht für anspruchsvolle O-Ring Anwendungen

geeignet sind Werte zwischen 55% und 100 % einzustufen, wie sie an handelsüblichen EPDM O-Ringen gemessen wurden. Bezüglich der Härtezunahme nach Hitze einwirkung (70h/150°C) zeigen gute EPDM O-Ringe Änderungen von weniger als 6 Härtepunkten, schlechte O-Ringe zeigen hier teilweise Änderungen von über 20 Härtepunkten bei einer Ausgangshärte von 70 Shore A.

Über eine thermogravimetrische Analyse lassen sich die wichtigsten Bestandteile einer Rezeptur zumindestens näherungsweise quantitativ bestimmen. Dabei wird eine Werkstoffprobe (ca 10 mg) des zu überprüfenden O-Ringes kontinuierlich bis zu max. 1000°C erhitzt, und dabei der relative Gewichtsverlust über der Temperatur gemessen. Die Auswertung der Kurve erlaubt die quantitative Ermittlung der Mischungsbestandteile in verdampfbare Bestandteile (überwiegend Weichmacher), pyrolysierte Bestandteile (überwiegend Polymer), oxidierbare Bestandteile (überwiegend Ruß) und nicht oxidierbare Bestandteile, auch als Ascherest bezeichnet.

Bei typischen statischen O-Ring Dichtungen kann man solange von einem Aufrechterhalten der Dichtfunktion ausgehen, bis der O-Ring seine Vorspannung ganz verloren hat. Dieser Punkt lässt sich labortechnisch an O-Ringen darstellen durch das Erreichen des Druckverformungsrestwertes von 100 %. Um Rückschlüsse ziehen zu können von Kurzzeit-Prüfungen, wie sie beispielsweise oben dargestellt wurden, und vom Rezepturaufbau, wie er sich mittels einer TGA-Analyse leicht an O-Ringen bestimmen lässt, auf das Langzeit Druckverformungsrest-Verhalten, wurden 5 verschiedene Positionen von EPDM O-Ringen unterschiedlicher Hersteller eingehender untersucht. Tabelle 1 zeigt die dabei gefundenen Eigenschaften nach verschiedenen Kurzzeit-Tests. Tabelle 2 zeigt die Unterschiede, wie sie mittels einer thermogravimetrischen Analyse herausgefunden wurden.

Rezeptur-Code	A	B	C	D	E
Härte, IRHD	81	67	77	75	74
Druckverformungsrest					
24h/100°C, %	5,6	-	18,1	22,0	25,9
24h/125°C, %	7,2	12,4	33,7	39,9	47
24h/150°C, %	12,1	21,9	61,5	60,8	72,8

Umluft 70h/150°C					
Härteänderung, IRHD	+/-0	+14	+8	12	13

Tabelle 1: Kurzzeit-Testergebnisse von 5 Positionen verschiedener EPDM O-Ringe (Schnurstärke $d_2=3,53$ mm)

Rezeptur-Code	A	B	C	D	E
verdampfbare Bestandteile (Restmonomere, Verarbeitungshilfsmittel und Weichmacher, Gew. %)	1,9	8,2	16,5	14,1	16,0
Pyrolysierbare Bestandteile (überwiegend Polymer), Gew. %	61,7	45,6	44,6	44,0	41,7
Summe organischer Bestandteile, Gew. %	63,6	53,8	61,1	58,1	57,7
oxidierbare Bestandteile, (T>650°C, O ₂)	31,4	40,5	36,5	39,3	39,6
Nicht oxidierbare Bestandteile, Gew. %	5,0	5,7	2,3	2,5	2,7

Tabelle 2: Quantitative Bestimmung der Hauptbestandteile der untersuchten O-Ringe mittels Thermogravimetrie (TGA)

--

Langzeitverhalten von EPDM O-Ringen (d2=3,53)

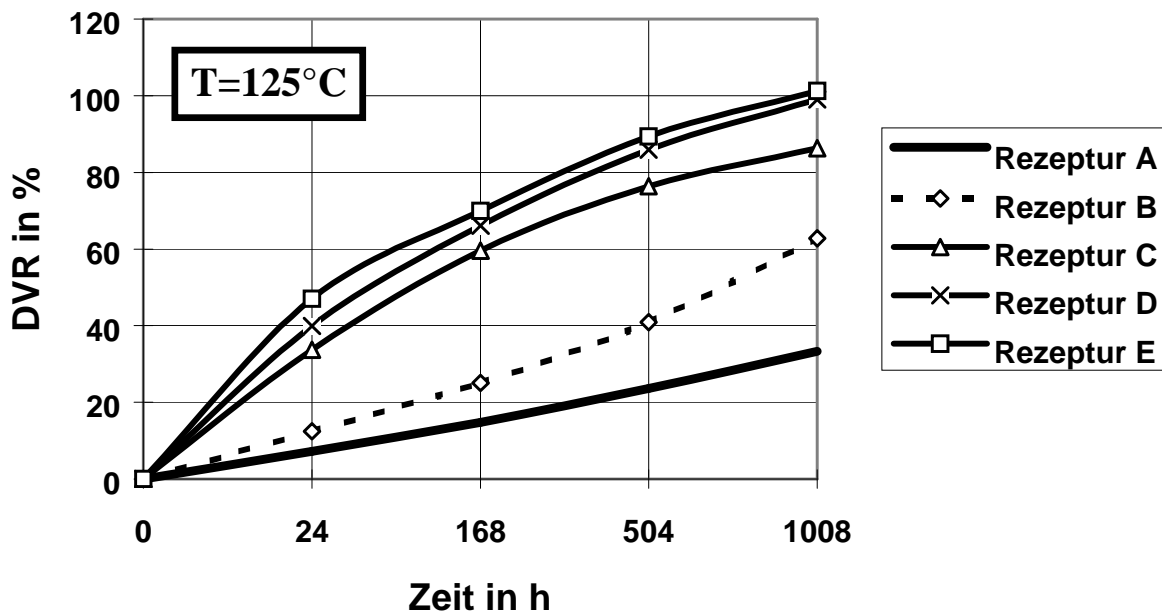


Bild 6: Langzeit Druckverformungsrest-Verhalten der 5 untersuchten EPDM O-Ring Positionen.

Die Ergebnisse aus dem Langzeitverhalten zeigen ein sehr stark unterschiedliches Verhalten zwischen den beiden peroxidisch vernetzten O-Ringen (A+B) und den 3 schwefelvernetzten (C+D+E). Diese Unterschiede lassen bei 125°C in Luft mindestens ein 10-Faches an Lebensdauer bei den O-Ringen mit dem Rezeptur-Code A gegenüber den EPDM O-Ringen mit dem Rezeptur-Code E erwarten. Die Reihenfolge der Ergebnisse der Kurzzeit Druckverformungsrest-Messungen stimmt gut mit der Reihenfolge der Langzeit-Untersuchungen mit ein. Die beiden peroxidisch vernetzten EPDM O-Ringe zeigen zwar beide sehr gute Kurzzeit Druckverformungsrest-Werte bei 150°C, jedoch besitzt die Rezeptur B einen deutlich höheren Anteil niedrig siedender Bestandteile (siehe Tabelle 2, verdampfbare Bestandteile) und wahrscheinlich einen gegenüber der Rezeptur A höheren Diengehalt (starke Härtezunahme nach 70h/150°C) im Polymer, was sich beides für das Langzeitverhalten negativ bemerkbar macht.

Die schwefelvernetzten Rezepturen weisen durchweg deutliche Weichmacheranteile aus, was sich zusätzlich (neben der Schwefelvernetzung) negativ auf das Langzeitverhalten auswirkt. Jedoch gibt es durchaus auch EPDM 70 O-Ringe, die hier noch

einen deutlich höheren Anteil an Weichmachern besitzen, also noch schlechter als die Rezeptur Esein können.

Verarbeitungsbedingte Einflußfaktoren

Bei allen elastomeren Dichtungen sind die Vulkanisationsbedingungen für das Erreichen eines guten Vernetzungsgrades von großer Bedeutung. Der große Kostendruck auf O-Ringe insbesondere bei der Massenfertigung führt zu einer knappen Bemessung der Schließzeiten der Werkzeuge. Teilweise kann durch das anschließende Tempern der O-Ringe der Vulkanisationsgrad der nur teilvulkanisierten O-Ringe noch erheblich verbessert werden. Das gelingt in der Praxis gut bei FKM O-Ringen, auch schwefelvernetzte EPDM-O-Ringe lassen bereits bei relativ niedrigen Temperaturen eine wesentliche Nachvulkanisation zu. Dagegen benötigen peroxidisch vernetzte EPDM-O-Ringe höhere Temperaturen zum Nachvulkanisieren, weshalb sich hier Begrenzungen durch die Temperaturbeständigkeit der O-Ringe ergeben. Daher sind bei peroxidisch vernetzten EPDM O-Ringen deutlich längere Schließzeiten der Werkzeuge als an schwefelvernetzten erforderlich, auch ist die Empfindlichkeit gegenüber Temperaturschwankungen im Werkzeug höher.

Daher ist die gute Rezepturqualität (= Werte die im Datenblatt eines Werkstoffes stehen) allein kein Garant für gute EPDM-O-Ringe. Hierzu ist es erforderlich dem Lieferanten Vorgaben für maximal zulässige Druckverformungsrestwerte an Serien-O-Ringen zu machen. Dies wird heutzutage bei vielen empfindlichen Endkunden von EPDM-O-Ringen bereits umgesetzt.

Vorschlag für eine Bestellvorschrift von EPDM O-Ringen

Wie oben ausgeführt, ergibt sich die Lebensdauerqualität von O-Ringen aus der Rezepturqualität und der Fertigungsqualität und läßt sich als Produkt darstellen, siehe Bild 7. Die wichtigsten Einflußgrößen auf die Rezepturqualität sind das Polymer selbst, der Weichmachergehalt (möglichst gering) und das Vernetzungssystem. Die wichtigsten fertigungsabhängigen Einflußfaktoren auf die Werkstoffeigenschaften sind die Vulkanisations - und Temperbedingungen. Die Überprüfung der Rezepturqualität wird in der Regel nur einmalig bei der Erstmusterprüfung durchgeführt, dafür sollte sie aber das komplette Spektrum an wichtigen Eigenschaften einschließen. Neben den physikalischen Grundeigenschaften (z.B. Härte, spez. Gewicht, eventuell noch Zugfestigkeit und

Reißdehnung) sollte das Hochtemperaturverhalten (Druckverformungsrest und Alterung), das Tieftemperaturverhalten (z.B. DVR) und das Quellverhalten in Referenzmedien (z.B. Aceton + Rücktrocknung) geprüft werden. Nachdem eine Rezeptur einmalig mit unter Serienbedingungen hergestellten O-Ringen überprüft wurde, sollten noch typi

Lebensdauerqualität von O-Ringen

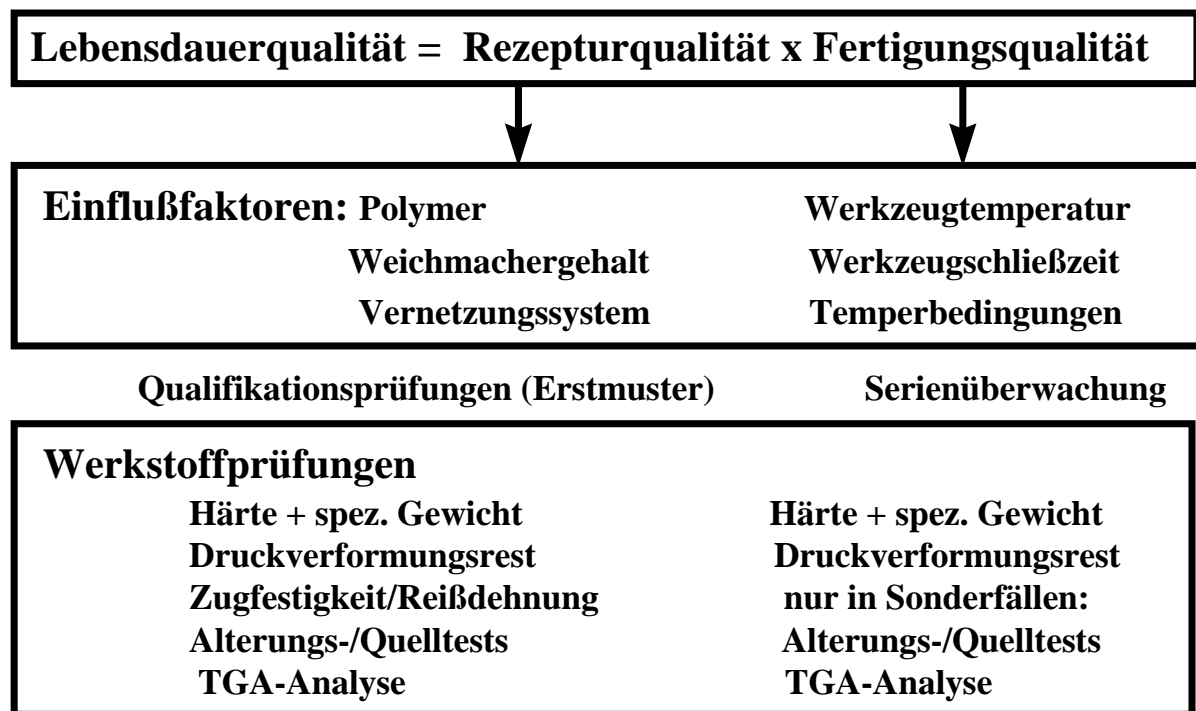


Bild 7 beschreibt die wichtigsten Werkstoffprüfungen zur Definition wichtiger Werkstoffeigenschaften

he Identifikationsmerkmale der Rezeptur definiert werden. Das kann mit der Härte und dem spezifischen Gewicht getan werden, durch eine TGA-Analyse (siehe oben) kann die Rezeptur deutlich besser hinterlegt werden.

Bei der Überprüfung der Serienlieferungen, also bei typischen Wareneingangsprüfungen, reicht es dann in der Regel aus, wenn einmal die Rezeptur grob identifiziert wird (Härte + spez. Gewicht), und wenn dazu noch ein zufriedenstellender Vulkanisationsgrad über eine Druckverformungsrest-Messung nachgewiesen wird. Unabhängig davon sollten natürlich die Einhaltung der Maßtoleranzen und der geforderten Oberflächenbeschaffenheit der O-Ringe überwacht werden (siehe oben).

Daraus lassen sich einfache, aber effektive Bestellvorschriften bezüglich den Werkstoffeigenschaften von O-Ringen ableiten. Tabelle 3 gibt ein Beispiel, wie dies für peroxidisch vernetzte EPDM O-Ringe aussehen kann.

Je nach dem Anforderungsprofil der Anwendung kann es natürlich sinnvoll erscheinen, aus Kostengründen Abstriche bei der Qualität der O-Ringe zu machen. Dies

Werkstoff-Prüfung	EPDM peroxid. vernetzt
Härte, DIN ISO 48 M, IRHD, bezogen auf den Nennwert der Rezeptur	+/- 5
Spezifisches Gewicht, DIN 53 479, zulässige Abweichung vom rezepturbezogenen Mittelwert, g/cm ³	+/-0,02
Druckverformungsrest 24h/150°C, DIN ISO 815 , % Verformung 25 %	30 max.
Druckverformungsrest 24h/150°C, DIN ISO 815, % Verformung 25 %, Abkühlung auf 23°C im gespannten Zustand	50 max.
Lagerung in Aceton, DIN 53 521, 24h/23 °C	
Änderung des Volumens, %	0 bis 10
Anschließende Rücktrocknung 22h/100 °C	
Änderung des Volumens, %	-3max.
Änderung der Härte, IRHD	+6 max.
Umluft, 70h/150 °C, DIN 53 508	
Änderung des Volumens, %	-3 max.
Änderung des Gewichts, %	-3 max.
Änderung der Härte, IRHD	+6 max.
TGA-Analyse, VDA 67135	
maximaler Anteil verdampfbarer Bestandteile, %	5 max.
maximal zulässige Abweichung von den Erstmustern bezüglich verdampfbarer Bestandteile, pyrolysierbarer Bestandteile (Polymer) und oxidierbarer Bestandteile (Ruß), Gew. %	+/- 2 max.
maximal zulässige Abweichung von den Erstmustern bezüglich dem anorganischen Rest, Gew. %	+/- 1,5 max

Tabelle 3: Vorschlag für eine fertigteilbezogene Bestellvorschrift (Werkstoffanforderungen) für peroxidisch vernetzte, weichmacherfreie EPDM O-Ringe aus dem oberen Leistungsspektrum.

sollte jedoch kontrolliert geschehen, indem einzelne der oben vorgeschlagenen Spezifikationsgrenzen aufgeweitet werden. Besondere Anforderungen in der Anwen-

ung können ebenso auch Ergänzungen erforderlich machen, zum Beispiel sollte bei einer Heißwasseranwendung über 150°C die Heißwasserbeständigkeit über einen angemessenen Einlagerungsversuch in Heißwasser abgesichert werden.

Butyl-O-Ringe (IIR/CIIR/BIIR)

Auch Butylkautschuk ist gut für Heißwassereinsätze geeignet. Die ungesättigte Hauptkette im Polymer hat jedoch zur Folge, dass das Leistungspotential des Kautschuks bezüglich Alterungsbeständigkeit unter dem von EPDM-Kautschuk liegt. Zudem ist die Wasserquellung bei Butyl deutlich höher als die von EPDM und die Verarbeitbarkeit dagegen schwieriger. Daher werden Butyl O-Ringe (spezielle Rezepturen) in Heißwasseranwendungen nur noch vereinzelt eingesetzt.

HNBR-Elastomere

HNBR (Hydrierter Nitrilkautschuk) wird wegen seiner guten Heißwasserbeständigkeit auch manchmal als ölbeständiges EPDM bezeichnet, das ist in Bezug auf das mittlere Leistungsspektrum von EPDM-Elastomeren auch zutreffend, jedoch nicht für das höchste Leistungspotential von EPDM-Elastomeren. Es ist darüber hinaus nicht zutreffend in Bezug auf viele mögliche Wasserzusätze (Korrosionsinhibitoren) oder in Bezug auf das Kälteverhalten. Außerdem reicht das Angebotsspektrum der HNBR-Elastomere von einer teilhydrierten Type mit 80% Sättigung, welche in der Regel dann schwefelvernetzt wird, bis zu einer vollhydrierten Type mit einem Sättigungsgrad von über 99%, welche auf Grund der geringen Anzahl an Doppelbindungen nur peroxidisch vernetzt werden kann. Dazwischen liegt ein breites Spektrum in Bezug auf die Alterungsbeständigkeit. Zu beachten ist auch, dass vollgesättigte HNBR-Elastomere, welche allein wirkliche Alternativen zum EPDM darstellen, ein Mehrfaches im Vergleich zu EPDM kosten. Damit bleibt HNBR-Elastomeren in Bezug auf Einsätze in Pumpen oder Armaturen nur der Bereich vorbehalten, wo zusätzlich eine Ölbeständigkeit gefordert wird und die Anforderungen an die Alterungsbeständigkeit deren Einsatz noch zulassen. Das ist derzeit überwiegend in Kühlwasseranwendungen in der Automobilindustrie (Nutzfahrzeuge) der Fall. Wo eine höhere Alterungsbeständigkeit verlangt wird, wird dann auf fluorierte Elastomere (FEPDM, FKM, FFKM) ausgewichen.

Silikon-Elastomere (VMQ)

Silikonelastomere haben den Vorteil einer sehr guten Warmluftbeständigkeit, verbunden mit einer sehr guten Kälteflexibilität und einem im Vergleich zu Fluorelastomeren erheblich niedrigen Polymerpreis. Sie sind gut einfärbbar und auch in Härten von 60 oder 50 Shore A und darunter ohne Einbußen bezüglich der Wärmebeständigkeit verfügbar, was man von EPDM-Werkstoffen nicht sagen kann. Die Wasserbeständigkeit von Silikon-Elastomeren wird dagegen häufig überschätzt. Die Auswirkungen einer Hydrolyse zeigen sich am schnellsten bei Druckverformungsrestversuchen in Heißwasser bzw., in Heißwasser/Glysantin-Gemischen. So hat beispielsweise ein Vergleichstests an O-Ringen nach 500 Stunden bei 125°C in einem Wasser/Glysantin-Gemisch selbst an speziell für den Heißwassereinsatz optimierten Silikon-O-Ringen einen Druckverformungsrest von 60-70 % ergeben, wobei die O-Ringe nach der Prüfung stark erweicht waren (typische Spuren eines stattgefundenen Polymerabbaus), während die parallel geprüften EPDM O-Ringe einen Wert von ca. 15% ergaben, ohne dass sich dort Spuren eines stattgefundenen Polymerabbaus feststellen ließen. Der Einsatz von Silikon O-Ringen in Heißwasser begrenzt sich daher hauptsächlich auf einen Temperaturbereich bis 100°C Dauertemperaturen.

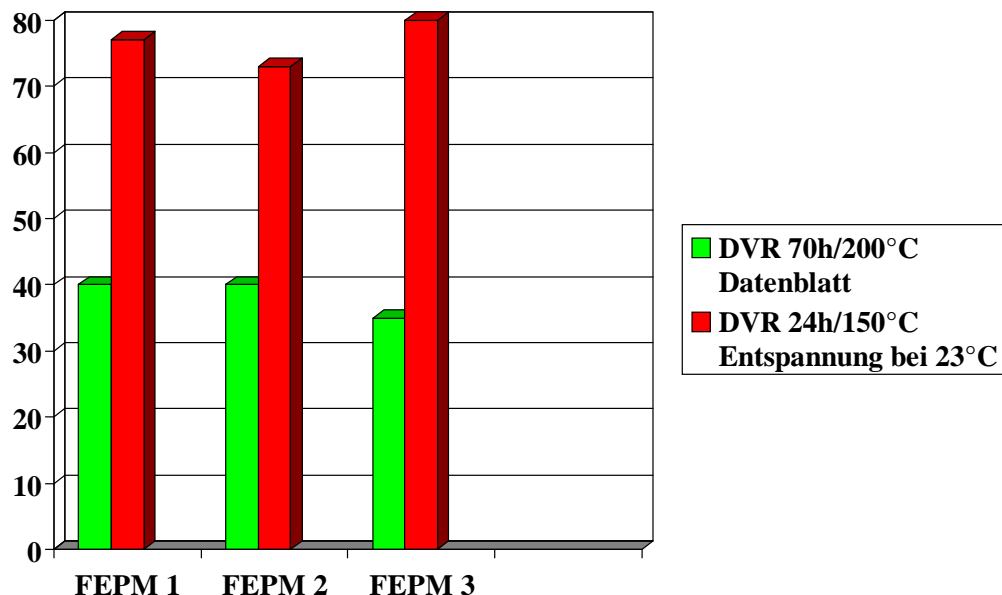
FEPM-Elastomere (Aflas)

Aflas-Polymere beinhalten Monomeren von EPDM (Propylen) und FKM (Tetrafluorethylen) und haben den Vorteil, dass damit die Vorteile von EPDM-Werkstoffen, nämlich eine gute Heißwasserbeständigkeit, und die Vorteile von FKM-Werkstoffen, nämlich eine sehr gute Wärmebeständigkeit (in Umluft), zu einem Großteil vereint sind. Ein Nachteil von Aflaswerkstoffen ist eine schlechte Kältebeständigkeit, welche nach einer Wärmebeanspruchung und einer anschließenden Abkühlung auf Raumtemperatur im verformten Zustand zu einer starken bleibenden Verformung führt, siehe Bild 8 „DVR-Werte nach 24h/150°C, Entspannung bei 23°C“. Allerdings ist diese bleibende Verformung zu einem großen Teil reversibel bei einer Wärmebeaufschlagung, siehe Bild 8 „DVR-Werte 70h/230°C Datenblatt“. Problematisch kann diese Eigenschaft aber in allen Anwendungen mit häufigen Temperaturwechseln werden, insbesondere wenn die Temperaturen auf unter Raumtemperaturen absinken. Eine Umstellung auf eine besser tieftemperaturbeständige Type (bisphenolisch vernetzte Type MZ) geht nur auf Kosten der Heißwasserbeständigkeit. Ein weiterer Nachteil dieser Werkstoffe ist eine im Vergleich zu FKM-Werkstoffen deutlich

schlechtere Verarbeitbarkeit, was die Verfügbarkeit von Aflas O-Ringen im Markt stark einschränkt. Was diese Werkstoffe aber letztlich für den Anwender interessant macht, ist, dass diese im Vergleich zu FFKM O-Ringen wesentlich preisgünstiger sind und im Vergleich zu peroxidisch vernetzten FKM-Elastomeren eine bessere Wasserbeständigkeit besitzen. Der Hauptanwendungsbereich dieser O-Ringe liegt also da, wo selbst gute EPDM-Werkstoffe nicht mehr einsetzbar und FFKM-Elastomere einfach nicht bezahlbar sind.

Allerdings ist die Heißwasserbeständigkeit dieser Werkstoffe nicht so gut, wie die von den besten EPDM-Elastomeren, siehe oben Bild 5, was auch das Schadensmuster aus Bild 3 belegt. Tabelle 4 zeigt einen Vergleich von einem Aflas O-Ring aus dem oberen Leistungsspektrum mit einem Standard FKM O-Ring (keine spezielle Heißwasserqualität).

FEPM-Werkstoffe im Vergleich Druckverformungsrestverhalten



Ergebnis: durchweg hohes Setzverhalten nach Abkühlung auf 23°C

Bild 8: Setzverhalten von FEPM-O-Ringen, einmal kalt (23°C) und einmal warm (200°C) entspannt.

Vergleich FEPM/FKM(Standard) Bei hohen Temperaturen und in Heißdampf/-Wasser		
Bedingungen	FEPM-O-Ring	FKM-O-Ring
70h/230°C Luft	36 %	69 %
168h/220°C in Luft	50 %	73 %
70h/110°C in Wasser	36 %	48 %
70h/230°C in Wasserdampf	43 %	> 100%

Die dargestellten Werte beziehen sich auf bestimmte Rezepturen und können nicht verallgemeinert werden

Tabelle 4: Vergleich eines FEPM O-Ringes aus dem oberen Leistungsspektrum mit einem Standard FKM O-Ring (keine Heißwasserqualität).

FFKM-Werkstoffe

Der sehr hohe Preis für FFKM-Werkstoffe ist für viele Heißwasseranwendungen ein K.O.-Kriterium. Ist diese Schmerzgrenze einmal überwunden, gibt es noch weitere Hürden bis zu einer guten Heißwasserabdichtung: Zum einen macht nur der Einsatz von speziellen heißwasserbeständigen FFKM-Rezepturen Sinn (auf keinen Fall sollte ein Triazin vernetzter FFKM-Werkstoff eingesetzt werden), Bild 9, zum anderen sind diese O-Ringe in Bezug auf Spannungsrisse infolge hoher Temperaturen und hoher Verpressungen, siehe Bild 10, deutlich empfindlicher. Daher sind für diese O-Ringe insbesondere bei Schnurstärken ab 3,5 mm reduzierte Verpressungswerte vorzusehen, das heißt, sind eventuell die Einbauräume der O-Ringe etwas zu modifizieren.

Allgemein gilt bei O-Ringen bezüglich der Verpressung ein Zielwert zwischen 30% (Nenn-Schnurstärke 1,78 mm) und 20% (Nenn-Schnurstärke 6,99 mm), dies sollte beim Einsatz von FFKM O-Ringe etwas reduziert werden (um ca. 10% auf 20 bzw. 10%)

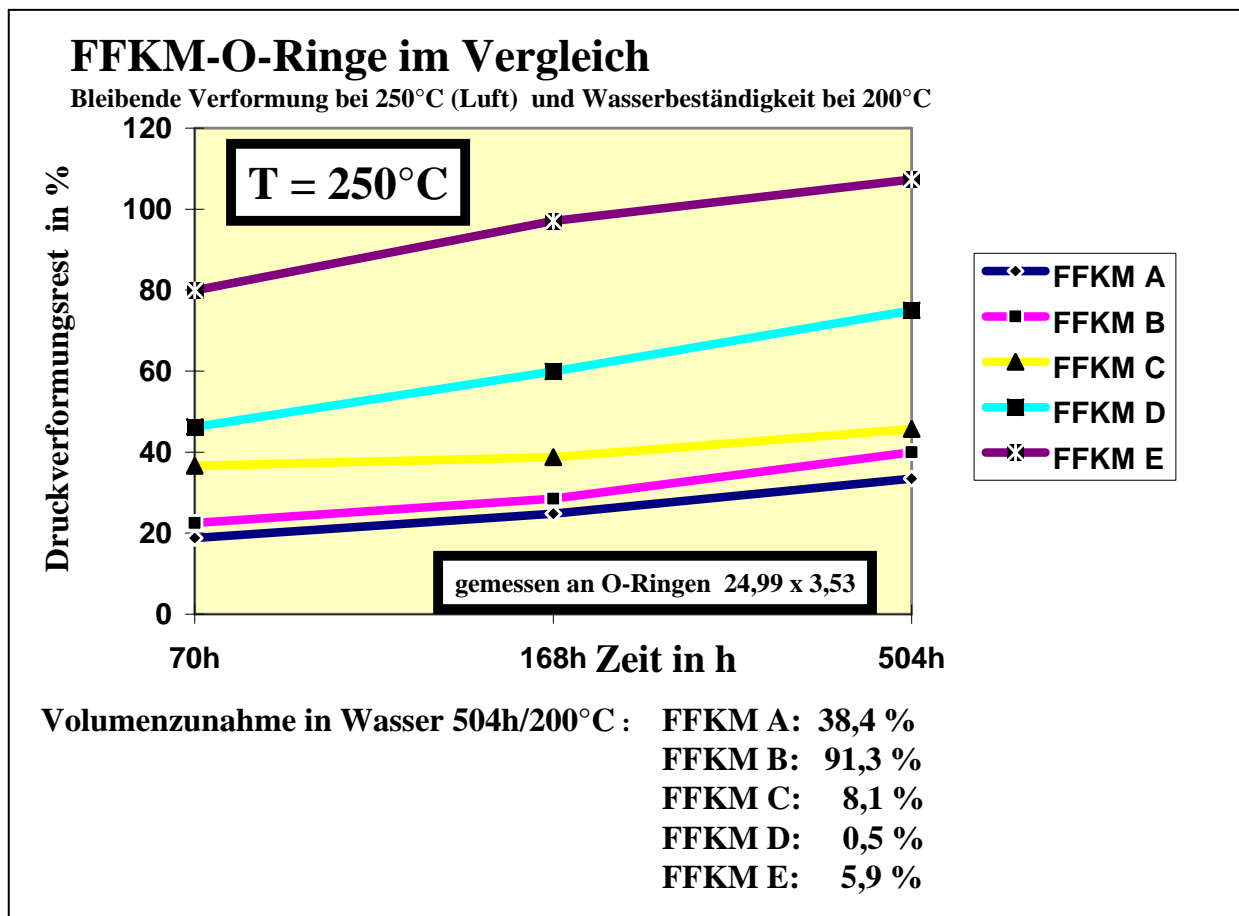


Bild 9: Beständigkeit verschiedener FFKM-Rezepturen in Heißwasser (Volumenänderungen) bzw. in Luft (Druckverformungsrest-Werte).

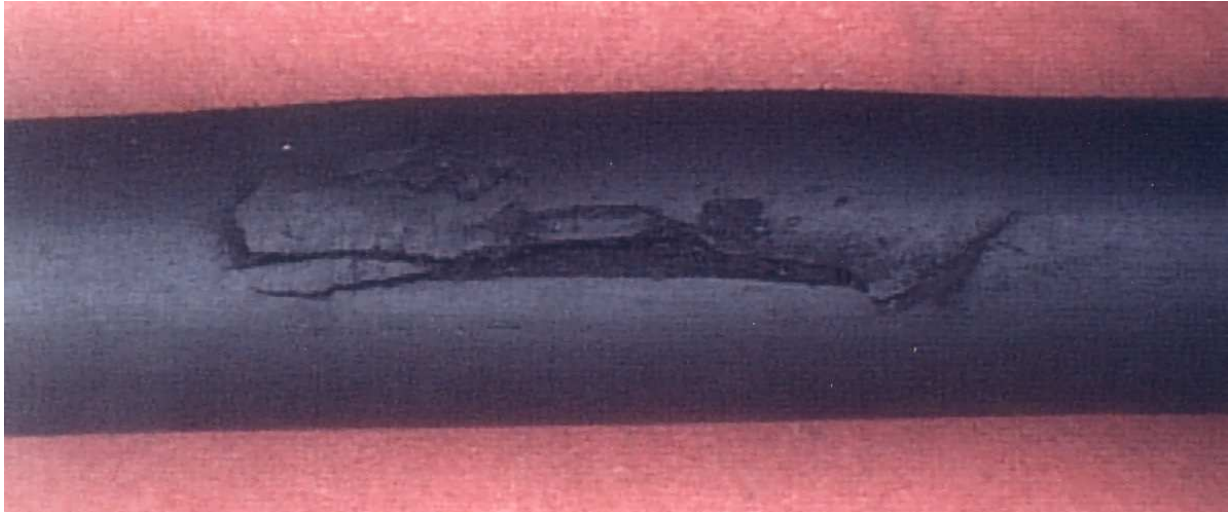


Bild 10: FFKM O-Ring nach Einsatz in Heißwasser bei 200°C, aufgeplatzt infolge zu hoher Verpressung

FKM-Werkstoffe

O-Ringe aus FKM-Elastomeren ohne besondere Spezifikationen sind in der Regel bisphenolisch vernetzte Dipolymere, welche sich durch einen niedrigen Druckverformungsrest auszeichnen. Dies gilt jedoch nur für das Verhalten in Luft. In Wasser wird dieser O-Ring schon nach ca. 1-3 Wochen bei 150°C sehr stark bleibend verformt sein. Daher muss beim Einsatz von FKM O-Ringen in Warm- und Heißwasser darauf geachtet werden, dass spezielle Rezepturen verwendet werden, das heißt zumindestens peroxidisch vernetzt. Auch dann wird der Einsatz von FKM-Elastomeren in Heißwasser/-und Dampf nicht für Dauertemperaturen über 150°C empfohlen, wenn versuchstechnisch kein angemessener Nachweis über die geforderte Lebensdauer vorhanden ist.

Höhere Leckagegefahr bei zyklischer Fahrensweise

Um das Langzeit-Dichtverhalten von O-Ring-Dichtungen abschätzen zu können, ist es erforderlich, sowohl die durch die Temperatur- und Medieneinwirkung bedingten chemischen Veränderungen im O-Ring als auch die physikalischen Einwirken auf die Dichtstelle zu betrachten.

Eine konstante Dauertemperatur bedeutet im Vergleich zu einer zyklischen Fahrensweise eine deutlich stärkere chemische Veränderung im O-Ring, das heißt, die

Spannungsrelaxation des O-Ringes ist erheblich stärker als bei der zyklischen Temperaturbeanspruchung, da die Reaktionsgeschwindigkeit chemischer Einwirkungen exponentiell mit der Temperatur zunimmt. Das bedeutet, dass ein zyklisch beaufschlagter O-Ring langsamer an Dichtkraft verliert als ein isotherm beaufschlagter O-Ring. Das heißt allerdings nicht, dass damit ein zyklisch beaufschlagter O-Ring immer länger dichtet, denn das Funktionsverhalten hängt zusätzlich von der Spaltänderung an der Dichtstelle ab. Denn bei einer Fahrensweise unter annähernd konstanter Temperaturen wird der O-Ring im Bezug auf das Rückstellverhalten minimal beansprucht, da im eingeschwungenen Zustand, im stationären Betrieb, in der Regel praktisch keine Spaltänderungen auftreten, darüber hinaus wird der O-Ring durch seine hohe Wärmeausdehnung zusätzlich aktiviert. Das heißt der O-Ring wird so unter idealen Randbedingungen eingesetzt. Solange der O-Ring nicht durch den Verlust an Weichmachern (die deshalb in der Rezeptur zu vermeiden sind) an Volumen verliert, wird dieser dichten, auch wenn die Spannungsrelaxation sehr weit fortgeschritten ist. Denn: ohne Spalt keine Leckage. Anders bei einer zyklischen Temperaturbeanspruchung: Unterschiedliche Massen und Wärmeausdehnungskoeffizienten der abzudichtenden Bauteile haben zur Folge, dass mit jeder Temperaturabsenkung an radial dichtenden O-Ringen ein Spalt erzeugt wird, den der O-Ring überbrücken muss. Zusätzlich tritt auch bei ihm ein erheblicher thermisch bedingter Schwund ein, im ungünstigen Fällen kann der Werkstoff darüber hinaus bereits bei Raumtemperatur durch ein beginnendes „Einfrieren“ zusätzlich an Dichtkraft verlieren. Somit wird der O-Ring bei jeder Temperaturabsenkung erheblich in Bezug auf sein Rückstellverhalten beansprucht, sodass bereits eine Leckage auftreten kann, ohne dass der O-Ring bereits zu 100% relaxiert sein muss. Das heißt in der Praxis, dass eine stark zyklische Fahrensweise dem O-Ring Werkstoff im Vergleich zu einer isothermen Fahrensweise erheblich mehr abverlangt und deshalb eine zyklische Temperaturbeanspruchung, insbesondere wenn die untere Temperaturgrenze bei Raumtemperatur oder darunter liegt, leckagegefährdeter ist.

Einfluss der Einbauräumgestaltung

Durch eine geschickte konstruktiven Gestaltung der O-Ring Einbauräume kann die Zeit, bis ein unter extremen Temperaturbedingungen eingesetzter O-Ring schließlich

ausfällt, deutlich verlängert werden. Grundsätzlich muss der O-Ring immer ausreichend stark verformt sein (>10-15%), auch unter Einbeziehung der ungünstigen Toleranzlagen, damit der verwendete Elastomerwerkstoff auch das vorhandene elastische Rückstellpotential abrufen kann. Darüber hinaus können durch die untenstehende Hinweise weitere Verbesserungen erreicht werden:

1. Axialdichtende Einbauräume bevorzugen. Der Verformungsgrad axialverformter O-Ringe hängt nur von einer Toleranz ab (ein planer Deckel vorausgesetzt) während eine Radialnut letztlich vom Zusammenwirken von 3 Maßen zustande kommt. Damit kann der Verformungsgrad des O-Rings in der Flanschnut besser kontrolliert werden. Temperaturschwankungen wirken sich zudem nicht auf die Nuttiefe aus wie das bei der radialen Nut der Fall ist. Insbesondere in Heißwasseranwendungen, wo mit EPDM-O-Ringen abgedichtet wird, kann bei einer axialen Nut der Luftzutritt besser begrenzt werden als bei einer radialen Nut. EPDM –O-Ringe können eine hervorragende Heißwasser- und Dampfbeständigkeit haben, begrenzt wird die Lebensdauer letztlich durch den oxidativen Angriff auf der Luftseite. Diesen Einfluss zu begrenzen heißt im gleichen Maße die Lebensdauer der Abdichtung zu verlängern.
2. Wenn radialdichtend, dann mit minimalen Durchmesserspielen. Wenn aus konstruktiven Gründen radiale O-Ring Nuten erforderlich sind, dann ist die Größe des radialen Spiels der abzudichtenden Bauteile in doppelter Hinsicht wichtig: je kleiner der Dichtspalt, desto geringer schwankt der Verformungsgrad des O-Rings (hohe Verformung = gut, geringe Verformung = schlecht), und je kleiner der Dichtspalt, desto stärker reduziert sich die Menge an Luft, welche die Lebensdauer bei EPDM O-Ringen reduzieren kann.
3. Bei radialen Abdichtungen kann der Einsatz einer doppelten O-Ring Abdichtung vorteilhaft sein. Dies gilt insbesondere bei EPDM Dichtungen, bei denen die Heißdampf- und Luftbeständigkeit so stark unterschiedlich ist. Der erste EPDM O-Ring zur Luftseite ist sozusagen der „Opfer-Ring“, der möglichst lange die Luft von dem zweiten EPDM O-Ring abhalten soll. Nicht zu empfehlen ist diese Anordnung überall dort, wo starke Druckstöße auftreten können und sich dadurch zwischen diesen beiden O-Ringen ein Druck aufbauen kann.

4. Möglichst große Schnurstärken verwenden. Viel hilft auch viel. Das gilt auch für den Einsatz von O-Ringen. Je größer die Schnurstärke, desto geringer ist das Verhältnis der freien Oberfläche zur Masse des O-Rings. Damit lässt sich insbesondere bei sehr hohen Temperaturen die Lebensdauer deutlich verlängern.
5. Gut fetten. Gerade wegen der Anfälligkeit von EPDM O-Ringen für die Alterung durch Wärme und Sauerstoff ist es sinnvoll, den Luftzutritt auch mit Hilfe von Fett zu unterbinden. Natürlich ist darauf zu achten, dass das Fett sich dem O-Ring gegenüber neutral verhält. Das ist insbesondere bei EPDM wichtig, da hier eine hohe Quellempfindlichkeit gegenüber allen Mineralölderivaten und chemisch ähnlichen Stoffen vorhanden ist.

Übersicht

O-Ring Prüflabor Richter, Kleinbottwarer Str. 1, 71723 Großbottwar,
Tel. 07148-922037, Fax 07148-92 2038
Bernhard.Richter@o-ring-prueflabor.de

[designed by rolffs webdesign](#)