

FACHWISSEN SCHADENSANALYSE VON ELASTOMERBAUTEILEN

Ein Angebot des

O RING

PRÜFLABOR

RICHTER

PRÜFEN BERATEN ENTWICKELN

Quelle: www.o-ring-prueflabor.de

Stand der Information: 07/2019

Hohe bleibende Verformung – Wenn die Dichtung „sitzenbleibt“

Autoren:

Dipl.-Ing. Bernhard Richter,

Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Blobner

1. Einordnung und Häufigkeit des Schadensbildes

Von den vier Hauptschadensmechanismen wird die hohe bleibende Verformung überwiegend der 2. Hauptgruppe zugerechnet:

1. Medien
- ▶ **2. Temperatur / Alterung**
3. Mechanisch / physikalische Einwirkungen
4. Herstellungsfehler

Die 2. Hauptgruppe lässt sich in vier Untergruppen aufteilen: Überhitzung, falscher Werkstoff, Alterung, schlechte Rezeptur. Die hohe bleibende Verformung stellt einen Sonderfall dar, da sie von jedem dieser Unterpunkte verursacht werden kann. Darüber hinaus kann auch ein schlechter Vulkanisationsgrad, das heißt, ein Herstellungsmangel, oder ein schlechter Einbauraum (falsche Nuttiefe / zu großes Durchmesserspiel) dieses Schadensbild hervorrufen. Die hohe bleibende Verformung stellt damit einen Sonderfall dar, da sie letztlich nicht nur einer Hauptgruppe von Schadensmechanismen zugeordnet werden kann.

Eine hohe bleibende Verformung war bei über 2000 im O-Ring Prüflabor Richter analysierten Schadensfällen bei ca. 3% der Ausfallgrund, es gibt aber darüber hinaus im Alltag des Prüflabors fast täglich Vorgänge, bei denen eine unerwartet hohe bleibende Verformung eines Werkstoffes oder einer Dichtung gefunden wird. Dies ist also eine Thematik mit der Dichtungsanwender häufig konfrontiert werden.

2. Fachliches Hintergrundwissen zum Schadensbild

Eine hohe bleibende Verformung als Ausfallursache liegt dann vor, wenn eine Dichtung durch eine fehlende elastische Rückverformung deutlich vor ihrer alterungsbedingten Lebensdauergrenze bzw. erheblich vor der Lebensdauererwartung des Anwenders ausfällt. Das Schadensbild stellt sich in einer beidseitigen Abflachung der Dichtung dar, dabei ist es häufig so, dass die Dichtung trotzdem immer noch elastisch wirkt, das heißt sich noch typisch gummielastisch verhält.

Es gibt folgende **Mechanismen**, die zu einer hohen bleibenden Verformung von Elastomerbauteilen führen können:

- Änderung der Netzwerkstruktur (Vorzeitige Alterung durch Temperatur, Medien inkl. Kettenbruch und Neuvernetzung in einem verformten Zustand) ► häufigster Mechanismus (irreversibel)
- Hohe Kristallisationsneigung bzw. ungünstiger Glasübergangsbereich des Polymers (teilweise reversible Verformung, siehe 2.2)
- Dichtungsschrumpfung durch Weichmacherverlust (irreversible Verformung, siehe 2.3)
- Kriechen von Elastomeren (irreversibel, Schadensmechanismus bei Elastomer-Gebäude-/Brückenlagern, in klassischen Dichtungsanwendungen nicht relevant).

Je nachdem, welcher Mechanismus vorliegt, muss an einer oder mehreren der folgenden **Ursachen** nachreguliert werden:

2.1 Herstellungsmängel bzw. Untervulkanisation

Elastomere werden erst bei der Formgebung durch eine chemische Umwandlung in den vernetzten Zustand elastisch. Dies erfordert eine exakte Prozessführung von Temperatur und Zeit bei der Vulkanisation im Werkzeug sowie beim Nachtempern.

Dieser Fehler wird entweder durch eine zu kurze Nachvernetzungszeit in der Spritzgussform bzw. im Temperofen oder durch ein Vergessen des Arbeitsschrittes Nachtempern ausgelöst werden, mit fatalen Folgen für die Dichtungsanwendung. Deswegen empfiehlt sich eine regelmäßige Qualitätskontrolle, bspw. eine DVR (Druckverformungsrest)-Prüfung an den fertigen Dichtungen. Wird dann ein unzureichender Vernetzungsgrad festgestellt, kann entweder durch ein zusätzliches Nachtempern der Fehler behoben werden (z.B. bei peroxidisch oder bisphenolisch vernetztem FKM, VMQ, schwefelvernetztem NBR) oder die Ware muss als

Ausschuss deklariert werden, da auf Grund des Werkstofftyps ein Nachtempern außerhalb des Spritzgießwerkzeuges nicht möglich ist (z.B. peroxidisch vernetzter EPDM oder HNBR).

Typisch für diese Schadensursache ist eine bleibende Verformung ohne signifikante Härtezunahme. Der naheliegende Rückschluss ist natürlich, dass die Dichtung von schlechter Qualität ist. Das ist zum Beispiel der Fall, wenn die Dichtung auf Grund oben beschriebener Fehlermöglichkeiten unzureichend vulkanisiert wurde. Es tritt dann eine hohe bleibende Verformung der Dichtung ein, ohne dass die werkstofftypischen Grenzen des Elastomers erreicht wurden. An neuen Dichtungen lässt sich dies an Druckverformungsprüfungen an Fertigteilen gut feststellen. An bereits eingesetzten Dichtungen ist es im Nachhinein nur begrenzt möglich. Das liegt daran, dass die Wärme aus dem Einsatz der Dichtung zu einer Nachvulkanisation führen kann. Misst man aber dann tatsächlich an der ausgefallenen Dichtung (nach einer thermischen Konditionierung, Gründe hierfür siehe 2.2) den Druckverformungsrest und es finden sich hohe, also schlechte DVR- Werte, kann man ziemlich sicher sein, dass die Ursache eine Untervulkanisation war. Finden sich hingegen niedrige, also gute DVR-Werte kann man keinen eindeutigen Rückschluss ziehen. Die guten DVR-Werte können auch von der Neuvernetzung im verpressten Zustand unter erhöhter Einsatztemperatur kommen und es lässt sich daher nicht mehr sagen, ob die Dichtung im Einbauzustand gut oder unzureichend vernetzt war.

2.2 Schlechte Polymereigenschaften (Glasübergangstemperatur, Kristallisationsneigung)

Typisch für diese Schadensursache ist ebenso eine bleibende Verformung ohne signifikante Härtezunahme.

Das viskoelastische Verhalten von Elastomeren bedeutet, dass die Kettenbeweglichkeit temperaturabhängig ist und bei Raumtemperatur bereits erheblich eingeschränkt sein kann. Entscheidend dabei ist, wie nahe sich der Elastomerwerkstoff im abgekühlten Zustand bereits an seinem Glasübergangsbereich befindet. Liegt dieser relativ hoch, wie das zum Beispiel bei FEPM-, FFKM- oder auch FKM-Polymeren der Fall sein kann, reicht diese begrenzte Kettenbeweglichkeit nicht mehr für eine ausreichende Rückstellung aus, wenn die verformte Dichtung einmal erwärmt wurde und sich die Polymerketten infolge der thermischen Aktivierung neu orientiert bzw. relaxiert haben und danach in der neuen Orientierung abkühlen. Das heißt, es findet im erwärmten Zustand eine Neuorientierung der Polymerketten statt, was dann zu einer erheblichen bleibenden Verformung bei anschließender Abkühlung auf Raumtemperatur auch ganz ohne Alterung führen kann.

Besitzt ein Elastomer kristalline Bereiche, wie z.B. EPDM, so können ebenfalls ähnliche Effekte, wie oben beschrieben, auftreten, auch wenn der Elastomer einen relativ niedrigen Glasübergangsbereich aufweist. Bei EPDM-Polymeren kann der Ethylengehalt je nach Polymerarchitektur zwischen 40 bis ca. 85% variieren. Ist er sehr hoch, kann dies zu kristallinen Sequenzen führen. Erst bei erhöhten Temperaturen ($>100^{\circ}\text{C}$) kann dieser Effekt durch die vergrößerte Kettenbeweglichkeit kompensiert werden. Wird dann ein Bauteil oder ein Prüfling verformt und bei erhöhten Temperaturen eingesetzt, führt die deutlich niedrigere Viskosität bzw. die vergrößerte Kettenbeweglichkeit dazu, dass sich die Polymerketten entsprechend den Verformungsspannungen neu orientieren. Erfolgt dann die Abkühlung auf Raumtemperatur, führen die kristallinen Sequenzen dazu, dass sich das Bauteil nach der Entlastung nur noch teilweise rückbildet, obwohl die Temperatur noch erheblich über der

Glasübergangstemperatur des EPDM Polymers liegt ($< - 40^{\circ}\text{C}$) und keine signifikante Zerstörung des Netzwerkes durch Alterung stattgefunden hat.

Das hohe Setzverhalten von FKM-, HNBR- und EPDM-Dichtungen und vielen TPE-Materialien ist in einigen Fällen also nicht auf eine schlechte Vulkanisation oder eine Schwefelvernetzung zurückzuführen, sondern auf die Polymereigenschaften.

Wenn man Druckverformungsrest-Werte nach ISO 815-1¹ in Datenblätter findet, beziehen sich diese fast immer auf das Verfahren A, das heißt, dass die Probekörper noch bei Prüftemperatur wieder entspannt werden. Diese Art der Prüfung bildet aber die Praxisanwendung nicht ab, wo die Dichtungen im verformten Zustand wieder auf Raumtemperatur oder darunter abkühlen. Um dies als mögliche Ausfallursache zu erkennen, reicht eine Druckverformungsrestprüfung über 24h bei 100 bis 150°C aus, wenn man die Prüfung nach Verfahren B (Entspannung der Probe erst nach Erreichen der Raumtemperatur) durchführt. Dieser Wert nach Verfahren B ist deshalb kaum in Datenblättern zu finden, weil er erheblich schlechter als der Wert nach Verfahren A ist, auch wenn alle großen deutschen Automobilhersteller diesen Wert bei der Werkstoffqualifikation einfordern.

Daher empfiehlt es sich bei auffällig stark bleibend verformten Dichtungen diese nach der Vermessung thermisch zu konditionieren, z.B. 1 h 100°C, sodass sich die Dichtung wieder zurückbilden kann, sofern die bleibende Verformung auf oben beschriebene reversible Effekte zurückgeht und nicht auf eine Alterung durch Wärme und Sauerstoff oder auf einen chemischen Angriff, welche zu einer irreversiblen bleibenden Verformung führen.

2.3 Mangelhafte Mischungsrezeptur

Typisch für diesen Schadensmechanismus ist eine bleibende Verformung mit einer signifikanten Härtezunahme und einem Volumenschwund. Die Dichtung verhält sich aber noch typisch gummielastisch, das heißt, sie bricht nicht durch eine Biegeprüfung.

Dichtungswerkstoffe, die nicht im Hochtemperaturbereich (wie z.B. FKM) eingesetzt werden, enthalten in ihren Rezepturen meist Weichmacher. Sie haben unterschiedlichste Funktionen, von Verbesserung der Verarbeitbarkeit, Kälteflexibilität, Füllstoffverteilung und Elastizität bis hin zur Preisreduktion des Compounds (Strecken einer Mischung). Wenn große Weichmacheranteile aus einer Dichtung durch Umgebungsfluide ausgewaschen/extrahiert werden oder ausgasen, kann dies zu einer hohen bleibenden Verformung führen. Zum alterungsbedingten Setzverhalten kommt dadurch noch ein zusätzlicher Volumenschwund hinzu. Sobald dieser Volumenschwund nicht mehr über das elastische Rückstellverhalten kompensiert werden kann, tritt Leckage auf.

Am häufigsten kommt diese Schadensursache bei EPDM-Werkstoffen vor, weil diese am leichtesten mit Mineralölen als Weichmacher gestreckt werden können, auch gibt es hier bereits von der Polymerindustrie ölgestreckte Polymertypen, die bis zu 50% Weichmacher enthalten. NBR-Werkstoffe können bis zu 20% Weichmacher enthalten.

Die Art und Menge des Füllstoffs in einer Elastomermischung haben auch einen Einfluss auf das Setzverhalten einer Dichtung. Bei, in der Rezeptur vergleichbaren Elastomercompounds, die nur in der Härte differieren, zeigen die weicheren Mischungen üblicherweise eine gerin-

¹ ISO 815-1: 2014-09: Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of compression set – Part 1: At ambient or elevated temperatures

gere bleibende Verformung als härtere. Die Härte eines Gummiwerkstoffes wird u.a. über Füllstoffart und -anteil eingestellt. Die elastische Rückfederung einer Dichtung geschieht aber durch das dreidimensional vernetzte Polymer. Je kleiner dessen Anteil wird, umso höher die Gefahr einer vorzeitigen hohen bleibenden Verformung der Dichtung.

Ein bedeutender Einflussfaktor auf die bleibende Verformung eines Werkstoffes ist das Vernetzungssystem. Bei der Schwefelvernetzung wird unterschieden, zwischen konventionellen Vernetzungssystemen, die längere Schwefelbrücken bilden und schwefelreduzierten Systemen (z.B. EV-Systeme, „efficient vulcanization“). „Die bleibende Verformung nach einer Deformationsbeanspruchung wird mit kleiner werdendem Index x in $C-S_x-C$ – Brücken günstiger, d.h. die Werte werden geringer. Dies gilt in besonderem Maße bei Beanspruchung mit höheren Temperaturen.“² Der Grund hierfür ist, dass Vernetzungsbrücken mit kurzen Ketten eine erhöhte Bindungsenergie aufweisen.

Mit Hilfe peroxidischer Vernetzungssysteme erhält man Vulkanisate mit einer verbesserten Wärmebeständigkeit und niedrigerem Druckverformungsrest gegenüber einer Schwefelvernetzung. Peroxidisch vernetzte Elastomere gelten wärmetechnisch stabiler als schwefelvernetzte. Einige Kautschuke können sowohl mit Schwefel als auch peroxidisch vernetzt werden (z.B. NR, NBR, HNBR, EPDM). Ist eine geringe bleibende Verformung eine Hauptanforderung an das Endprodukt, ist die peroxidische Vernetzung in der Regel vorzuziehen.

2.4 Ungeeignete Einbausituation

Typisch für diese Schadensursache ist eine bleibende Verformung ohne signifikante Härtezunahme.

Eine hohe bleibende Verformung bedeutet, dass die Dichtung die Maße des Einbauraums annimmt und zur Spaltüberbrückung keine Rückstellreserven mehr besitzt. Das kann wesentlich durch den Einbauraum begünstigt werden, wenn infolge einer zu großen Nuttiefe oder einer fehlerhaften Dichtungsauslegung der Verformungsgrad der Dichtung zu gering ist. Bei geringen Verformungen von z.B. 2-5% des Querschnitts können sich die durch die Verformung erzeugten Rückstellkräfte auch ohne Alterung signifikant abbauen. Dies erklärt sich durch die weitmaschige Vernetzung, bei erhöhten Temperaturen verstärkt sich dieser Effekt noch. Das heißt, bei gering verformten Dichtungen ist der relative Anteil an Verformungskraft bzw. an Rückstellkraft, der durch die physikalische Relaxation verlorengelassen, relativ hoch. Dieser Effekt verstärkt sich noch durch eine Erwärmung und abschließende Abkühlung, siehe auch 2.2. Erhöht man dagegen den Verformungsgrad der Dichtung, wird die Kettenbeweglichkeit eingeschränkt. So sieht zum Beispiel die ISO 3601-2³ für O-Ringe mit einer Schnurstärke von 1,78 mm eine Verformung zwischen 14 und 35% vor.

Werden Elastomerdichtungen im Krafthauptschluss eingesetzt, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass sie vorzeitig durch eine hohe bleibende Verformung ausfallen. Dieses Dichtprinzip fordert den Gummiwerkstoff stark. Um eine gute Dichtwirkung zu erreichen, benötigt man hohe Verpresskräfte, die durch eine relativ früh einsetzende Spannungsrelaxation abgebaut werden. Dadurch können nur geringere Drücke als bspw. mit O-Ringen im Kraftnebenschluss abgedichtet werden.

² SEEBERGER, D.: Kautschukchemikalien in: HOFMANN, W. und GUPTA, H.: Handbuch der Kautschuk-Technologie, Dr. Gupta-Verlag, Ratingen, 2001, Kap. 7, S.13

³ ISO 3601-2:2016-07: Fluid power systems - O-rings – Part 2: Housing dimensions for general applications

Die hohe bleibende Verformung wird in den meisten Fällen durch eine schnellere Alterung des Werkstoffes als erwartet ausgelöst. Eine Dichtung kann nur uneingeschränkt altern, wenn sie mit genügend Sauerstoff in Berührung kommt. In Bezug auf die Alterung haben O-Ringe mit großen Schnurstärken ein günstigeres Verhältnis von freier Oberfläche zur Masse als dünne Schnurstärken und weisen deswegen bessere DVR-Werte auf.

2.5 Unzulässige thermische oder chemische Einwirkungen

Typisch für diesen Schadensmechanismus ist neben der bleibenden Verformung häufig eine signifikante Härtezunahme, zudem bricht die Dichtung bereits bei einer leichten Biegebeanspruchung oder zeigt Rissbildungen. Dies ist ein Zeichen dafür dass die rezepturspezifische Belastungsgrenze des Werkstoffes bezüglich Wärme- bzw. Medienbeständigkeit erreicht wurde.

Tritt dieser Ausfall bereits bei einem Bruchteil der angestrebten Lebensdauer auf, so ist dies ein sicheres Zeichen dafür, dass der Werkstoff nicht zur Anwendung passt. Die Frage bleibt, wie es zur falschen Werkstoffwahl kommen konnte. Hierzu kann es verschiedene Gründe geben:

- Die Anwendungstemperaturen sind höher als angenommen. Bereits 10 K mehr können zu einer Halbierung der Lebensdauer, 20K mehr zu einem Viertel der Lebensdauer führen. Darüber hinaus kann eine Eigenerwärmung der Dichtung durch Schwingungen oder ein zusätzlicher Wärmeeintrag – z.B. durch Kompressionswärme bei zyklischen Druckerhöhungen bei Gasen – zu einem verfrühten Ausfall führen. Kommt es nur zu kurzzeitigen starken Temperaturüberschwingern, kann dies zu einer lokalen Abflachung und Rissigkeit nur in dem Bereich des Wärmeeintrags führen, siehe **Abb. 1**.
- Durch die Anwesenheit von Schwermetallen kann es über eine Autoxidation zu einem verfrühten Ausfall kommen. Dabei kann es bei EPDM-Werkstoffen neben der bleibenden Verformung auch zu einer Erweichung und dem kompletten Abbau des Polymers in Ruß kommen. Ein Nachweis von Schwermetallen ist über eine REM-EDX-Analyse möglich.
- Die Dichtung wird mit Medien beaufschlagt, die zu einem chemischen Angriff führen. Das können aggressive Reinigungs- oder Sterilisationsmedien in der Verfahrenstechnik sein oder auch hoch additivierte Öle bzw. andere aggressive Fluide. Liegt dieser Verdacht nahe, kann die Dichtung mittels einer GC-MS-Analyse auf Rückstände hin untersucht werden
- Fehlende Kenntnisse über das Langzeitverhalten führen zu einer falschen Werkstoffauswahl. Der gängige Begriff der „zulässigen Dauertemperatur“ ist irreführend, weil sich die zulässige Dauertemperatur von Elastomeren immer erst zusammen mit der konzipierten Einsatzdauer ergibt. In der Polymerindustrie hat sich als „Dauertemperatur“ eine Zeitspanne von 1000h (= 6 Wochen) eingebürgert, ohne dass darauf noch einmal seitens der Dichtungshersteller explizit hingewiesen wird. Eine Temperaturerhöhung um 10K führt in der Anwendung zu einer Halbierung der Lebensdauer, andersherum bewirkt eine Erniedrigung der Temperatur um 10K eine Verdoppelung der Einsatzdauer. Wird ein Dichtungswerkstoff nicht nach dieser Faustformel bezüglich der angestrebten Lebensdauer überprüft, kann dies zu einer falschen Werkstoffauswahl führen. So wird zum Beispiel bei einer Heizungsanwendung (60° C in Heißwasser) kein NBR als Dichtungswerkstoff ausgewählt, obwohl seine zulässige „Dauertemperatur“ (=1000h) bei 100°C liegt, weil der

Anwender diese Dichtung mindestens 30 Jahre lang einsetzen will. Stattdessen verwendet man dazu einen guten, peroxidisch vernetzten EPDM-Werkstoff.

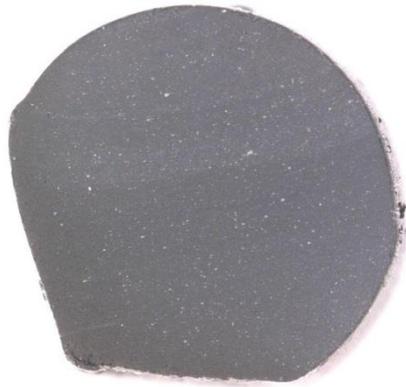
- Irreführende Datenblattangaben täuschen eine nicht vorhandene Wärmebeständigkeit vor. Der Druckverformungsrest wird in Datenblättern in der Regel mit Messwerten an zylindrischen Probekörpern mit einem Durchmesser von 13 mm (Probekörper B) oder gar 29 mm (Probekörper A) ermittelt. Langzeituntersuchungen im O-Ring Prüflabor haben aufgezeigt, dass bereits bei der zulässigen Dauertemperatur nach dem 1000h-Kriterium ein erheblicher Einfluss der Wandstärke bzw. der Geometrie vorhanden ist (DLO-Effekt, „Diffusion Limited Oxidation“). Ergebnisse aus Kurzzeitprüfungen (24h) an Normprobekörpern und O-Ringen sind in etwa noch miteinander vergleichbar. Wird die Prüfzeit verlängert, so weisen die O-Ringe - auf Grund ihres schlechteren Verhältnisses Oberfläche zu Masse - schlechtere Prüfergebnisse als Normprobekörper auf. Erhöhte Temperaturen (z.B. bei NBR 125°C oder bei HNBR 175°C) führen zu einer kompletten Verzerrung der Möglichkeiten für O-Ringe. Erst Langzeit Druckverformungsrestwerte von zylindrischen Probekörpern A und B, 20K unterhalb der zulässigen 1000h-Dauertemperatur (bei NBR 80°C) sind auch an O-Ringen mit dünnen Schnurstärken realisierbar.

3. Schadensbild

3.1 Beschreibung des Schadensbildes und problematischer Bereiche

Dass sich eine Elastomerdichtung durch Temperatur- und Medieneinwirkung bleibend verformt ist normal, deshalb geht es bei einer Schadensanalyse darum zu bewerten, ob die gefundene bleibende Verformung ursächlich für eine Leckage sein kann. Aus diesem Grund muss man den Einbauraum kennen. Ist die noch verbliebene Dichtungshöhe deutlich höher als die Nuttiefe, so scheidet die bleibende Verformung als Ursache für die Leckage aus, sofern sich die Dichtung nach dem Ausbau nicht mehr in erheblichem Maße zurückgebildet hat.

Weitere wichtige zu untersuchende Merkmale eines Schadensmusters sind, ob sich dieses noch typisch gummielastisch verhält, ob sich die Härte (**Abb. 4**) signifikant verändert hat und/oder, ob das Volumen der Dichtung erheblich abgenommen hat. Dies gestattet dann eine Bewertung des Schadensbildes. Druckverformungsrestmessungen können die getroffenen Annahmen noch absichern.

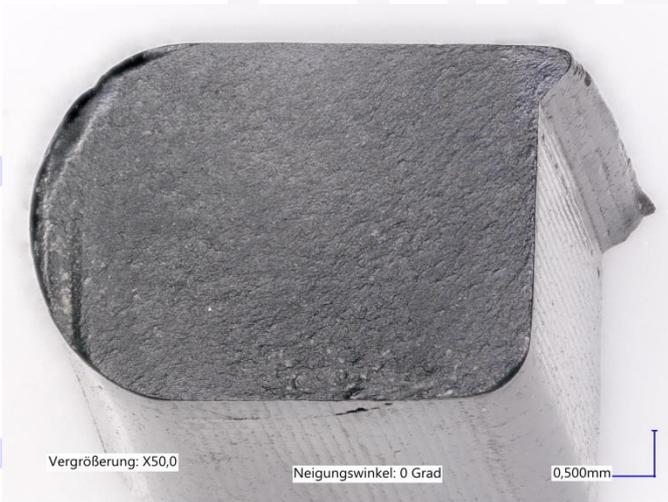


Vergößerung: X50,0

Neigungswinkel: 0 Grad

0,500mm

Abb. 1: Querschnitt eines geschädigten O-Rings: Kurzzeitige Überhitzung führt zu lokalen Abflachungen im Bereich des Wärmeeintrags



Vergößerung: X50,0

Neigungswinkel: 0 Grad

0,500mm

Abb. 2: Querschnitt eines Schadens-O-Rings: Typisch für eine unzulässige thermische Beanspruchung ist neben der bleibenden Verformung eine komplette Versprödung, die sich hier andeutungsweise in der Struktur der Schnittfläche zeigt.



Vergößerung: X50,0

Neigungswinkel: 0 Grad

0,500mm

Abb. 3: Bleibende Verformung durch chemischen Angriff - deutlich zu erkennen der stärkere Verformungsgrad im linken Bereich (Mediumseite)



Abb. 4: Typisch für eine unzulässige thermische Beanspruchung ist neben der bleibenden Verformung eine komplette Versprödung, die sich hier in der Rissbildung nach leichter Biegebeanspruchung im Kontaktbereich der Dichtung zeigt

Schwierig gestaltet sich teilweise die Abgrenzung des Schadensbildes einer bleibenden Verformung durch Untervulkanisation von dem Schadensbild einer kurzzeitigen Überhitzung ganz besonders bei FKM Dichtungen.

3.2 Auswirkungen des Schadens

Dieser Schaden zeigt Symptome ähnlich eines Dichtungsausfalls am Ende seiner Lebensdauer, eben nur zu einem viel früheren Zeitpunkt. Es kommt zu Leckagen und kann bis zum totalen Versagen des Dichtsystems führen.

3.3 Abgrenzung zu ähnlichen Schadensbildern

Der Querschnitt eines durch übermäßigen Abrieb ausgefallenen O-Rings kann auf den ersten Blick mit einer hohen bleibenden Verformung verwechselt werden. Beim Vergleich der Querschnittsfläche von einem abgeriebenen O-Ring mit einem neuen O-Ring wird jedoch schnell klar, dass beim durch Abrieb geschädigten O-Ring Querschnittsfläche fehlt. Da Gummiwerkstoffe in erster Näherung als inkompressibel betrachtet werden können, kommt es bei einer hohen bleibenden Verformung zu keiner signifikanten Flächenänderung, sondern nur zu einer Umlagerung von Flächen. Außerdem weist der abgeriebene Ring oft Schleifspuren auf, siehe **Abb. 5 und 6**.

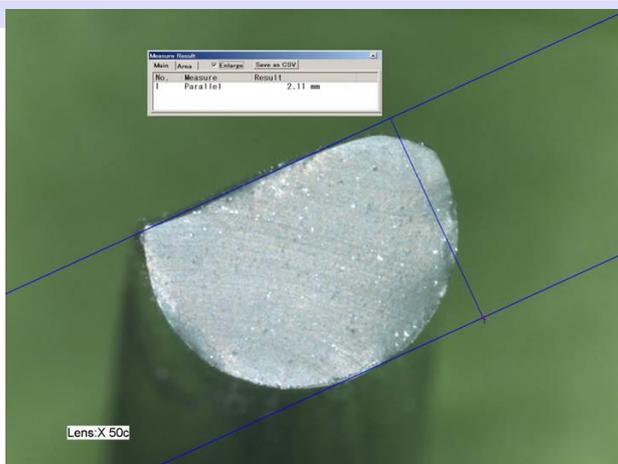


Abb. 5: Abgeriebener O-Ring (EPDM, 70 ShA) aus „statischer“ Abdichtung mit zu großem druckbedingtem Axialhub



Abb. 6: Draufsicht Außendurchmesser des geschädigten O-Rings aus Abb. 5 mit deutlichen Riefen aus dem Abriebvorgang

4. Präventionsmaßnahmen

Um diesen Schaden zu vermeiden, genügt es in den meisten Fällen sich bei der Auslegung einer Dichtung mit vier Punkten auseinanderzusetzen: Temperaturbelastung der Dichtung, Verformungsgrad, Werkstoff und Verarbeitungsqualität.

Neben den maximalen Spitzentemperaturen müssen auch Zeit-/Temperaturkollektive über die Lebensdauer abgeschätzt und in der Werkstoffauswahl berücksichtigt werden. Bei der Gestaltung des Einbauraumes ist zu beachten, dass gewisse Mindestverformungsgrade sichergestellt sind. Das bedeutet zum Beispiel bei O-Ringen eine Verpressung von mindestens 10%.

Die Auswahl des richtigen Werkstoffes ist ein sehr komplexes Feld. Deswegen sind die meisten Dichtungsanwender auf einen kompetenten Lieferanten angewiesen. Neben den klassischen Voraussetzungen, wie eine gute und offene Kunden-Lieferantenbeziehung, an der beide Seiten arbeiten müssen, kann auch der Anwender viel dazu beitragen, ein gut funktionierendes Dichtsystem zu erhalten. Zum einen ist ein ausführliches Lastenheft eine große Entscheidungshilfe, zum anderen kann ein Konstrukteur mit dem entsprechenden Gummifachwissen gezielter nach kritischen Punkten fragen, im vorliegenden Fall, z.B. nach Vernetzungssystemen oder Kristallinität des Polymers. Außerdem können die Vorgaben für Rezeptideigenschaften der ISO 3601-5⁴ weiterhelfen einen angemessenen Stand der Technik zu erhalten.

⁴ ISO 3601-5:2015-04: Fluid power systems - O-rings - Part 5: Specification of elastomeric materials for industrial applications

5. Praxistipps (Prüfmöglichkeiten / Normempfehlungen)

Die Druckverformungsrestprüfung (ISO 815-1) ist sehr einfach auszuführen und gibt gute Aussagen, ob ein Werkstoff zu einer hohen bleibenden Verformung neigt oder nicht. Darüber hinaus sollten immer auch Grenzwerte für Druckverformungsrestmessungen an Fertigteilen definiert werden, und zwar sowohl nach Verfahren A als auch nach Verfahren B.

Eine gute Verarbeitungsqualität sollte man durch zwei Säulen absichern, zum einen durch die bereits erwähnte Kunden-Lieferantenbeziehung und zum anderen durch regelmäßige und sinnvolle Qualitätskontrollen der fertigen Dichtungen. Ist nicht genügend Gummikompetenz im eigenen Haus vorhanden, so können diese Prüfungen auch von externen akkreditierten Prüflaboren, wie dem O-Ring Prüflabor Richter, als Dienstleistung durchgeführt werden. Durch entsprechende Rahmenverträge bleiben die Kosten überschaubar und es entstehen keine Verzögerungen in der Produktion.

Jedoch sollte jeder Dichtungsanwender ein Minimum an Parametern (Härte, Dichte, Abmessungen) im eigenen Hause nachprüfen können, um in Zweifelsfällen eine Materialverwechslung bei der Montage auszuschließen.

Die Thermogravimetrische Analyse (TGA) eignet sich sehr gut zur Untersuchung von Rezepturzusammensetzungen. Mit ihrer Hilfe lässt sich herausfinden, wieviel Anteil Weichmacher eine Mischung enthält. Beim Dichtungsschrumpf durch Ausgasen oder Extraktion von Weichmacher gibt der Vergleich von unbenutzter mit ausgefallener Dichtung einen klaren Nachweis der Schadensursache.

6. Sonstiges

Dieser Artikel erscheint in einer Kurzfassung in der Zeitschrift DICHT!, Ausgabe 03/2019.

Link zu den Digitalausgaben dieser Zeitschrift:

<https://dichtdigital.isgatec.com/de/profiles/1d1042c9c353/editions>