

FACHWISSEN SCHADENSANALYSE **VON ELASTOMERBAUTEILEN**

Ein Angebot des

O RING
PRÜFLABOR
RICHTER

PRÜFEN BERATEN ENTWICKELN

Quelle: www.o-ring-prueflabor.de

Stand der Information: 01/2021

Werkstoffverwechslung – Rezepturveränderung – „Alles scheinbar wie immer“ und doch kommt es zum Ausfall

Autoren:

Dipl.-Ing. Bernhard Richter,
Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Blobner

1. Einordnung und Häufigkeit des Schadensbildes

Werkstoffverwechslung bzw. Rezepturveränderungen sind eine Schadensursache, die wohl die meisten zueinander verschiedenen Schadensbilder verursachen kann. In den häufigsten Fällen können solche Ausfälle den ersten beiden der drei Hauptschadensmechanismen zugeordnet werden (Medien und Temperatur/Alterung). In diesen beiden Hauptschadensmechanismen kann jede Unterkategorie (wie z.B. Quellung, Chemischer Angriff, Überhitzung, Alterung) betroffen sein. Beim dritten Hauptschadensmechanismus (Mechanisch/physikalische Einwirkungen) betrifft es nur einige Schadensmechanismen aus der letzten Untergruppe „Physikalische Überbeanspruchung“ (wie z.B. Spaltextrusion, unzureichende Kälteflexibilität), die durch Werkstoffverwechslung verursacht werden können.

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

Normalerweise wird eine Werkstoffverwechslung relativ früh in einer Schadensanalyse erkannt, so dass man nicht tiefer in die Analyse des eigentlichen Schadensmechanismus einsteigen muss, weil dieser bei Verwendung des richtigen Materials in der jeweiligen Anwendung erst gar nicht aufgetreten wäre.

2. Fachliches Hintergrundwissen zum Schadensbild

Dieses Kapitel befasst sich nicht – wie sonst in dieser Artikelserie üblich – mit den vielfältigen Schadensbildern/-mechanismen, welche durch Werkstoffverwechslung bzw. Rezepturänderung auftreten können, weil die einzelnen Schadensbilder/-mechanismen bereits ausführlich an anderer Stelle abgehandelt wurden. Vielmehr liegt der Fokus dieses Artikels auf den präventiven Maßnahmen zur Verhinderung von Werkstoffverwechslungen und auf analytischen Methoden zur Aufdeckung einer aufgetretenen Verwechslung.

2.1 Werkstoffverwechslung

Die Werkstoffverwechslung bei der Dichtungsmontage kann mitunter einem Unternehmen teuer zu stehen kommen. „Eine fehlerhafte Dichtung kann unmittelbare Folgen haben, wie z.B. Erzeugung von Produktionsausschuss und geringe Arbeitsproduktivität. Häufig muss ein Monteur das richtige Teil finden und erneut einbauen, wodurch wertvolle Zeit verschwendet wird. Sekundäre Folgen, wie z.B. Produktfehlfunktionen, sind ebenfalls häufig und in der Regel viel schwerwiegender und haben größere Auswirkungen auf das Unternehmen.“¹ Dies kann bis zu einer Rufschädigung führen.

Es gibt zwei Hauptfaktoren im Dichtungsbereich, welche eine Werkstoffverwechslung begünstigen. Zum einen ist das die Standardisierung von Dichtungsgrößen, d.h. es werden mitunter an bestimmten Bauteilen bzw. Fließbändern Dichtungen (z.B. genormte O-Ringe) mit den exakt gleichen Abmessungen, aber aus unterschiedlichen Materialien und/oder Härten eingesetzt. Zum anderen sind die meisten technischen Elastomere schwarz, da Ruß als Füllstoff und damit indirekt als Farbgeber eine herausragende Bedeutung bei Gummiwerkstoffen hat.

In manchen Fällen kann eine Werkstoffverwechslung unentdeckt bleiben, wenn bspw. eine einfachere Dichtung gegen einen höherwertige versehentlich ausgetauscht wurde.

Wird eine Werkstoffverwechslung in der Anwendung erkannt, zeigt sich dies meist an sehr extremen Schadensbildern (z.B. sehr hohe Quellung).

Verwechselt werden kann theoretisch jede Dichtung mit einer anderen ähnlich aussehenden, jedoch gibt es bestimmte Verwechslungskombinationen, die relativ häufig vorkommen, welche in der folgenden **Tab. 1** näher erläutert werden.

¹ NGUYEN, Ngoc (Sealing & Shielding Team of Parker TechSeal Division): Sealing Fundamentals Seal Identification Methods: Color Coding, June24, 2014, Onlineartikel (Webseite zuletzt aufgerufen am 26.11.2020: <http://blog.parker.com/sealing-fundamentals-seal-identification-methods%3A-color-coding>)

Ursprünglich vorge- sehener Werkstoff	Fälschlich eingesetz- ter Werkstoff	Krit. Kontaktmedium/ Einsatzbereich	Folgeschäden
NBR	EPDM	Gas, Kraftstoffe, Öle	Extrem hohe Quellung und Erweichung
EPDM	NBR, FKM	Heißwasser, Dampf, Bremsflüssigkeit	Risse, hohe bleibende Verformung, Quellung
FKM	NBR	Hydraulik	Überhitzung, frühzeiti- ger Dichtungsausfall
EPDM	NR	Gestanzte Dichtungen aus Plattenmaterial	Ozonrisse, frühzeitiger Dichtungsausfall
HNBR	NBR	Freiluftbewitterung, Hydraulik	Ozonrisse, frühzeitiger Dichtungsausfall
FFKM	FKM	Chemische Industrie	Starke Quellung, che- mischer Angriff

Tab. 1: Häufige Verwechslungskombinationen von Dichtungswerkstoffen

2.2 Rezepturänderung

Im Gegensatz zur Kunststoffverarbeitung, werden im Elastomerbereich oft Compoundentwicklung, -herstellung und -verarbeitung in ein und demselben Betrieb durchgeführt. Ist dies nicht der Fall, gibt es im Gummibereich dennoch sehr enge Absprachen zwischen Compoundentwicklung/-herstellung und dem Elastomerverarbeiter. Es ist üblich bei Verarbeitungsproblemen kleinere Anpassungen der Mischung „auf dem kurzen Dienstweg“ durchzuführen („minor changes“). Diese werden nur in Ausnahmefällen mit dem Kunden kommuniziert und haben per Definition keine Auswirkungen außerhalb typischer Streuungen auf die physikalischen Eigenschaften eines Compounds und können meist nur mit hohem analytischem Aufwand (z.B. GC-MS) detektiert werden. Bedeutender im Bereich der Schadensanalyse sind größere Änderungen an der Rezeptur („major changes“), welche dem Endkunden, sei es bewusst oder unbewusst, vom Mischungshersteller nicht angezeigt wurden. Dies kann zum einen durch die Nichtverfügbarkeit bestimmter Rohstoffe (z.B. Unterbrechung globaler Lieferketten, Brände in Zulieferfirmen u.ä.) wie auch durch ökonomische Gründe (z.B. Verbilligung einer Mischung durch Substitution bestimmter Bestandteile) verursacht werden. Eine sehr häufige Ursache für signifikant geänderte Rezeptureigenschaften besteht darin, dass Dichtungen oft über nicht transparente Wege beschafft werden und dadurch ein Lieferantenwechsel weder vom technischen Händler angezeigt, noch vom Anwender erkannt wird, weil die Dichtungen weder belastbar spezifiziert sind noch überhaupt geprüft werden.

2.3 Ungenaue Werkstoffspezifikation

Generell empfiehlt es sich alle technisch eingesetzten Gummiformteile der Anwendung entsprechend zu spezifizieren. Liegen keine eigenen Hausnormen vor, kann nicht nur für O-Ring Anwendungen die ISO 3601-5² als Grundlage genommen werden.

Schäden durch Werkstoff- und Rezepturänderungen treten häufiger bei gestanzten Dichtungen aus Industriegummiplatten auf. Dort werden öfter Verschnitte verschiedener Polymere verwendet, während auf dem Datenblatt meist nur eine Polymerangabe existiert. Beträgt dann der Anteil des auf dem Datenblatt genannten Polymers mindestens 8% im Werkstoff, wird es

² ISO 3601-5: 2015-04: Fluid power systems- O-rings- Part 5: Specification of elastomeric materials for industrial applications

für den Anwender schwer bei daraus resultierenden Ausfällen den Lieferanten juristisch haftbar zu machen. Außerdem ist es erwähnenswert, dass fast alle Datenblätter von elastomeren Werkstoffen Anmerkungen enthalten, mit denen juristisch betrachtet eine Haftung für diese Datenblattangaben ausgeschlossen wird. Noch weniger können diese Datenblätter als eine belastbare Zusage für eine immer konstante Mischungszusammensetzung herangezogen werden.

So kann es z.B. vorkommen, dass Ozonrisse an Elastomerstanzteilen aus „EPDM“ auftreten. Dies ist auf den ersten Blick verwunderlich, da EPDM als sehr gut ozonbeständig gilt, jedoch nicht, wenn es mit NR oder SBR verschnitten ist. Durch eine Analyse mittels IR-Spektroskopie können die tatsächlich eingesetzten Basispolymere festgestellt werden. Für das Auftreten von Ozonrissen sind dann die Beimischungen von NR oder SBR verantwortlich.

Ebenso kommt es bei Plattenware öfter zu Schadensfällen, wenn NBR bestellt wurde, aber ein offiziell deklariertes (im Datenblatt) Verschnitt aus NBR/SBR oder NBR/NR geliefert wurde. Meist geschieht dies nicht vorsätzlich, sondern auf Grund nicht vorhandener bzw. ungenauer Spezifikation seitens des Kunden.

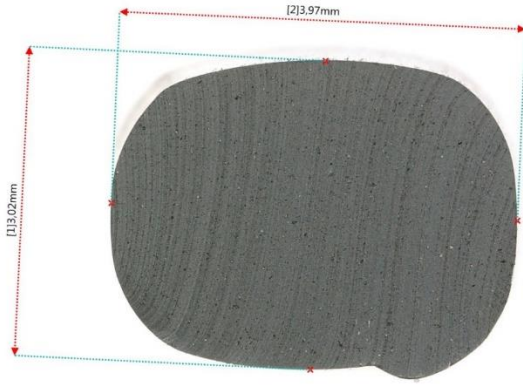
3. Schadensbild

3.1 Beschreibung des Schadensbildes und problematischer Bereiche

Wie bereits oben erwähnt, ist eine Schadensanalyse dann beendet, wenn die Ursache entdeckt wird, was bei Werkstoffverwechslungen meistens relativ schnell gelingt. Daher sind auch nur bei einem Bruchteil aller im O-Ring Prüflabor wegen Verwechslungsproblemen gelandeten Schadensanalysen die Fehlerbilder mikroskopisch dokumentiert worden. Die Abb. 1 bis 5 zeigen typische Fehlerbilder von Werkstoffverwechslungen, nämlich übermäßige Quellung (**Abb. 1 und 2**), Versprödung durch thermische Überbeanspruchung (**Abb. 3 und 4**) und physikalische Überbeanspruchung (**Abb. 5**).



Abb. 1: Flachdichtung, in Öl gequollen, Sollwerkstoff: NBR, fälschlich eingesetzt: NR



Vergrößerung: X50,0

Neigungswinkel: 0 Grad

0,50mm

Abb. 2: Durch Wasser gequollener CR O-Ring, eigentlich sollte ein EPDM O-Ring eingesetzt werden



Abb. 3: Überhitzter NBR O-Ring, vorgesehen in dieser Anwendung war ein FKM-Werkstoff

Vergrößerung: X30,0

Neigungswinkel: 0 Grad

0,50mm



Abb. 4: Tatsächlich eingesetzter Werkstoff war NR, der Soll-Werkstoff wäre EPDM gewesen, Ausfall durch Versprödung in einer Heißwasseranwendung

Abb. 5: Hier war die Verwechslung der Werkstoffhärte der Ausfallgrund: Statt einem NBR mit 90ShA wurde ein NBR O-Ring mit 70 ShA verwendet, der dann aufgrund der schwierigen Montage bereits bei der Montage zerstört wurde.



3.2 Auswirkungen des Schadens

Häufig tritt die Leckage infolge einer Werkstoffverwechslung erst deutlich zeitverzögert nach der Montage auf. Wie oben gezeigt, kann sich eine Verwechslung ganz unterschiedlich auswirken. Ein großes Problem gibt es dann, wenn nicht genau rekonstruiert werden kann, wie es zur Verwechslung kam, oder wenn größere Mengen an Dichtungen falsch montiert wurden. Dann kann es vorkommen, dass große Gas- und Wasserarmaturen wieder aus dem Erdreich ausgegraben, dass Kraftwerkspumpen vorbeugend stillgelegt und erst überprüft, oder dass ganze Chargen von Heizungsarmaturen zurückgerufen werden müssen. Dies sind nur drei Praxisbeispiele von ca. 50 Schadensfällen durch Werkstoffverwechslung, welche in den letzten 20 Jahren in unserem Labor untersucht wurden. Sie zeigen eindrücklich, dass eine Verwechslung eine Kettenreaktion an erforderlichen Maßnahmen auslösen kann, welche die betroffene Firma finanziell und imagemäßig sehr schwer schädigen kann. Unzureichende Materialspezifikationen und daraus resultierende Ausfälle durch stark schwankende Eigenschaften der gelieferten Dichtungen führen zu unbefriedigenden stark variierenden Standzeiten, welche unzufriedene Kunden zurücklassen. Es endet häufig damit, dass sich die Kunden für Produkte anderer Marktbegleiter entscheiden.

3.3 Abgrenzung zu ähnlichen Schadensbildern

Da die Werkstoffverwechslung viele Gesichter hat, das heißt kein spezifisches Schadensbild erzeugt, ist auch eine Abgrenzung zu anderen Schadensursachen schwierig. Das mitunter ähnliche Schadensbild durch eine mangelhafte Werkstoffspezifikation zeigt häufig eine hohe bleibende Verformung, eine starke Härtezunahme bzw. Versprödung, oder einen auffällig starken Abrieb bei dynamischen Dichtungen. Wird ein Werkstoff ungenügend spezifiziert, kann es auch zu übermäßigen Quellungen (wie z.B. bei der Werkstoffverwechslung EPDM statt vorgesehenem NBR) oder Ozonrissen (wie z.B. bei der Werkstoffverwechslung NR statt vorgesehenem EPDM) kommen.

4. Präventionsmaßnahmen

4.1 Werkstoffverwechslung

4.1.1 Werkstoffverwechslung während des Herstellungsprozesses einer Dichtung

Werkstoffverwechslungen in der Dichtungsherstellung, also genauer gesagt Compoundverwechslungen, kommen eher selten beim Dichtungsanwender an, da diese Ausschussteile in der Regel spätestens bei der Warenausgangsprüfung des Verarbeiters auffallen. Solche Falschteile gelangen nur zum Kunden, wenn sowohl der Hersteller als auch der Anwender eine ungenügende Qualitätskontrolle durchführen und/oder der verwechselte Compound eine sehr große Ähnlichkeit mit dem eigentlich vorgesehenen aufweist. In letzterem Fall kann es sein, dass die Werkstoffverwechslung gar nicht in der Anwendung ausfällt.

Überprüfen Elastomerverarbeiter jede neue Mischungsladung mittels Rheometer und gleichen die Ergebnisse mit hinterlegten Kurven ab, dann kann bereits ein großer Prozentsatz an möglichen Verwechslungen ausgeschlossen werden. Außerdem sollten mindestens noch die Dichte und die Härte an den Fertigteilen bzw. wo dies nicht möglich ist, an Probekörpern überprüft werden. Mit diesem Mindestumfang an Prüfungen lassen sich so gut wie alle kritischen Mischungsverwechslungen erkennen.

Kauft der Verarbeiter die Mischung zu, ist darauf zu achten, dass „die Mischungsgebilde (...) durch Versandanschrift, Mischungsbegleitkarte sowie Packstückbegleitkarte gekennzeichnet“³ sind. Außerdem sollten sie noch ein Werksprüfzeugnis⁴ (Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204) enthalten.

4.1.2 Werkstoffverwechslung während der Nachbearbeitung einer Dichtung

Die meisten Dichtungen durchlaufen noch Nachbearbeitungsprozesse, wie z.B. Kälteentgraten, Trovalisieren, manuelles Entgraten, Tempern, visuelle Fehlerkontrolle (durch Mitarbeiter oder Automaten) und Oberflächenbeschichtungen. Manche dieser Bearbeitungsschritte erfolgen nicht beim Dichtungshersteller. Bei allen Transportvorgängen ist auf eine standardisierte und leicht nachvollziehbare Beschriftung der Behälter zu achten. Die Mitarbeiter sind durch Schulungen (z.B. vollständiges Ausräumen von Entgratungsmaschinen) und Unterweisungen zu sensibilisieren, welche fatalen Folgen eine Dichtungsverwechslung haben kann. Dazu sollten zusätzliche Maßnahmen im Materialfluss (keine Überkreuzungsmöglichkeit von bereits behandelten und unbehandelten Teilen) und in der Ablaufplanung (keine Aufträge mit ähnlichen Abmessungen direkt hintereinander ausführen) eingeführt werden. Und schließlich sollte die Warenausgangskontrolle in vollem Umfang erst nach Durchführung aller Nachbearbeitungsschritte erfolgen. Sollten Teile der Warenausgangsprüfung aus betrieblichen Gründen schon vor bestimmten Nachbearbeitungsschritten durchgeführt worden sein, so ist im Einzelfall zu

³ Internetinformation zur Kennzeichnung von Mischungen der PHOENIX Compounding Technology GmbH, Hamburg (Webseite zuletzt aufgerufen am 26.11.2020):

https://www.phoenix-compounding.com/pages/gummimischungen/mischungen/kennzeichnung/kennzeichnung_de.html

⁴ Beispiel eines Werksprüfzeugnisses der PHOENIX Compounding Technology GmbH, Hamburg (Webseite zuletzt aufgerufen am 26.11.2020): https://www.phoenix-compounding.com/pages/gummimischungen/mischungen/kennzeichnung/abnahmepruefzeugnis_DIN_EN_10204.pdf

prüfen, ob diese nicht am Ende nochmal wiederholt werden müssen, um eine Dichtungsverwechslung ausschließen zu können.

4.1.3 Werkstoffverwechslung während der Verpackung / des Transports

Eine eindeutige Beschriftung der Transportbehälter ist eine sehr wichtige Präventionsmaßnahme. Je nach Sauberkeitsanforderungen, Einsatz und Größe kann die Dichtung entweder als Schüttgut in genormten Behältern bzw. Einwegkartonschachteln oder in transparenten Kunststofftüten verpackt werden. In manchen Fällen kann auch eine Einzelverpackung Sinn machen, wie dies schon seit Jahrzehnten in der Luftfahrt für O-Ringe angewendet wird oder wie das bei FFKM O-Ringen den Stand der Technik darstellt.

Diese Informationen sollte der Transportbeleg mindestens enthalten:

- Angabe des Lieferanten
- Genaue Werkstoffbezeichnung inkl. Nennhärte in ShA (Aus der Werkstoffbezeichnung sollte auch für einen Laien das verwendete Basispolymer (z.B. EPDM, NBR, FKM usw.) ersichtlich sein, falls nicht, sollte es zusätzlich mit angegeben werden.)
- Dichtungsbezeichnung mit Nennmaßen
- Lieferdatum / Chargenbezeichnung
- Stückzahl

Folgende Zusatzinformationen können je nach Anwendung noch sinnvoll bzw. notwendig sein:

- Artikelbezeichnung des Herstellers
- Artikelbezeichnung des Anwenders
- Vulkanisationsdatum (Cure-date)
- Fertigungsauftrag des Herstellers
- Hinweise zur maximalen Lagerdauer (z.B. bei Ersatzteilen)

Die Transportbelege sollten so an den Behältern befestigt sein, dass sie nicht leicht ausgetauscht werden bzw. verloren gehen können.

4.1.4 Werkstoffverwechslung während der Montage

Die wichtigste Präventionsmaßnahme bei der Montage ist eine Sensibilisierung und Schulung der Mitarbeiter. Im Gegensatz zu einer Elastomerfertigung ist für einen klassischen Montagearbeiter die Dichtung ein meist sehr kleines unbedeutendes Bauteil neben vielen anderen. Welche gravierenden Folgen ein Dichtungsausfall selbst für sehr große Anlagen haben kann, ist wenigen Mitarbeitern bewusst. Besonderes Augenmerk ist auf die Befüllung von Dichtungsvorratsbehältern am Band bzw. bei automatischer Dichtungsmontage auf die Befüllung der Automaten zu richten. So sollten Sauberkeit und das Nichtvermischen unterschiedlicher Chargen eine Selbstverständlichkeit sein. Dichtungen sollten nicht nach Abmessungen, sondern nach Werkstoffgruppen gelagert werden. Unterschiedliche Abmessungen können nämlich – im Gegensatz zu unterschiedlichen Werkstoffen – leichter (mit dem Auge) erkannt werden.

„Eine einfache Überprüfungsmöglichkeit der Werkstoffbasis besteht über die Rückprallelastizität (Elastomertester⁵), wodurch eine sekundenschnelle, zerstörungsfreie und einfach durchzuführende Möglichkeit der Elastomererkennung gegeben ist. Auch wenn dieses Verfahren keine wissenschaftlich exakte Methode der Polymererkennung darstellt, lassen sich damit die am häufigsten eingesetzten FKM-, NBR-, und EPDM-O-Ringe mit einer erstaunlich hohen Trefferquote unterscheiden. Daher gehört ein solch einfaches Prüfinstrument an einen Montagearbeitsplatz, wo O-Ringe aus unterschiedlichen Polymeren verbaut werden.“⁶
Sollte es nicht möglich gewesen sein bereits in der Konstruktionsphase leicht zu unterscheidende O-Ring Abmessungen zu wählen, so bleibt noch die Möglichkeit der Markierung von Dichtungen, sei es mit Farben oder einer Beschriftung.

4.1.5 Markierung von Dichtungen zur Vermeidung von Werkstoffverwechslung

Eingefärbte Elastormischungen (bei der Compoundierung)

Die eindrucklichste Art der Markierung ist die gesamte Einfärbung des Compounds. Die meisten Elastomere sind auf Grund des Füllstoffes Ruß schwarz. Verschiedenste Rußtypen spielen bei der Verbesserung der Compoundeigenschaften eine bedeutende Rolle, was für den Compoundentwickler die größtmögliche Freiheit zur Optimierung insbesondere der physikalischen Eigenschaften wie Festigkeit und Abriebwiderstand bedeutet, und auch bei einigen anderen Eigenschaften in speziellen Fällen Vorteile bieten kann, wie zum Beispiel bei der Medienbeständigkeit oder der Hitzebeständigkeit. Soll auf Grund häufiger Materialverwechslungen eine Dichtung in einem laufenden Anwendungsfall in Zukunft eingefärbt werden, ist eine Neubemusterung mit dem eingefärbten Material notwendig, das heißt es müssen andere Füllstoffe („helle Füllstoffe“) und Farbpigmente verwendet werden, was zu Einbußen in den physikalischen Eigenschaften führen kann. Deswegen sollte nur die Dichtung der beiden möglichen Verwechslungspartner eingefärbt werden, an welche geringere technische Anforderungen gestellt werden. Dies ist im Einzelfall mit dem Dichtungshersteller zu klären.

Von der US-amerikanischen RMA (Rubber Manufacturers Association) wurde bereits vor Jahrzehnten ein sogenannter „color code“ für O-Ringe herausgegeben, also eine Zuordnung bestimmter Basispolymere zu bestimmten Farben. Diese technische Information wurde in die deutsche wdk-Leitlinie 951⁷ aus dem Jahr 1986 übernommen.

⁵ Beispiele für Bezugsquellen des Elastomertesters:

<https://www.metax-gmbh.de/hydraulikdichtungen-hydraulikdichtung/elastomer-tester.html>

<https://www.ibstool.com/app/download/12894684836/Anwendung+des+Elastomer+Tester.pdf?t=1553078294>

<https://www.kubo.ch/de/News/2019/Werkstofftester.php>

<https://www.mafa-shop.com/elastomer-tester---fuer-die-ermittlung-der-werkstoffarten>

⁶ RICHTER, Bernhard: O-Ringe (Kap. 3.3.3) in: TIETZE, Wolfgang (Hrsg.): Handbuch Dichtungspraxis, Vulkan-Verlag, Essen, 2000, S. 252

⁷ W.d.K.-Leitlinie 951: Elastomere Kennzeichnung von O-Ringen durch Farben, Ausgabe März 1986

Polymerbasis der Gummimischung	Empfohlene Farbe (in Klammern engl. Bezeichnung)
NBR	Schwarz (black)
ACM	Schwarz (black)
CR	Vorzugsweise schwarz, alternativ rot (red)
FKM	Vorzugsweise schwarz, alternativ braun (brown)
EPDM	Vorzugsweise schwarz, alternativ violett (purple)
VMQ	Rostbraun (rust)
FVMQ	Blau (blue)

Tab. 2: Empfehlungen zur farblichen Kennzeichnung von O-Ringen nach der wdk-Leitlinie 951 (März 1986)

Nach Recherchen der ARPM (US-amerikanische Association for Rubber Products Manufacturers)⁸ ist der RMA color code aktuell (2020) nicht mehr in Benutzung, da die darin enthaltene Information in Normen der SAE International (ehem. Bezeichnung: Society of Automotive Engineers) und NAS (National Aerospace Standards) übergegangen ist. So gibt es bspw. eine Norm von SAE International in der Reihe „Aerospace Recommended Practice“ ARP1832A: Color Identification for O-ring Seals (2011-09-20).⁹ Die meisten Farbempfehlungen der RMA-Richtlinie wurden übernommen, zusätzlich wird „grün“ für HNBR vorgeschlagen. Für VMQ lautet die vorgeschlagene Farbe „rotbraun“ und nicht mehr „rostbraun“ und bei FVMQ wird „cyan“ (=blaugrün) statt bisher „blau“ empfohlen.¹⁰

Die wdk-Leitlinie weist explizit auf Schwierigkeiten mit farbigen CR-Mischungen hin. Bei diesen „können Alterungsverhalten und Ozonbeständigkeit gegenüber rußgefüllten Mischungen ungünstiger sein, da die sonst verwendeten Alterungs- und Ozonschutzmittel hier nicht eingesetzt werden können, weil sie zu Verfärbungen führen würden. Diese Änderungen sind sorgfältig hinsichtlich der gestellten Anforderungen und Einsatzbedingungen sowohl im Kurz- als auch im Langzeitversuch zu ermitteln.“¹¹

„Bezüglich des Einsatzes von farbigen (...) [Dichtungen] bietet der Markt derzeit vor allem FKM- und HNBR- und zum Teil auch EPDM-O-Ringe mit zu den schwarzen Werkstoffen vergleichbaren Werkstoffeigenschaften.“¹² Silikon- und Fluorsilikonwerkstoffe sind in der Regel immer farbig, ebenso auch TPU-Werkstoffe.

Außerdem weist die wdk-Leitlinie darauf hin, dass es bei verschiedenen Mischungschargen bzw. auch durch Lagerung oder Einbau zu leichten Farbabweichungen kommen kann.

Auch heute beziehen sich noch O-Ring-Hersteller in ihren Handbüchern auf den „RMA Color Code“.¹³

⁸ E-Mail Mitteilung von S. Denzio (Director of Publications der ARPM) vom 08.12.2020

⁹ Link auf die Webseite der SAE

(zuletzt aufgerufen am 09.12.2020): <https://www.sae.org/standards/content/arp1832a/>

¹⁰ Vgl. Katalog der NOK Corporation: O-Rings, Edition 2007, S. 10, Table 4-3 Material kinds of NOK's colored O-ring, Katalog nicht mehr auf der NOK Webseite verfügbar, aber noch bei vietnamesischen technischen Händlern (zuletzt abgerufen am 09.12.2020): <http://kythuataba.vn/wp-content/uploads/2015/12/O-ring-NOK.pdf>

¹¹ W.d.K.-Leitlinie 951: Elastomere Kennzeichnung von O-Ringen durch Farben, Ausgabe März 1986, Seite 2

¹² RICHTER, Bernhard: O-Ringe (Kap. 3.3.3) in: TIETZE, Wolfgang (Hrsg.): Handbuch Dichtungspraxis, Vulkan-Verlag, Essen, 2000, S. 252

¹³ Z. B. ERIKS (Hrsg.): Technisches Handbuch O-Ringe Engl. Version 2010, S. 18: https://eriks.de/content/dam/de/pdf/downloads/dichtungen/o-ringe/ERIKS_Technical-Handbook-O-Ringe_eng.pdf (Webseite zuletzt aufgerufen am 26.11.2020) oder Col-O-Ring®-System der Fa. Parker, das aber aktuell nicht mehr beworben wird, sondern nur noch in älteren Publikationen auf der Parkerwebseite zu finden ist.

Im Gegensatz zu Beschichtungen behalten eingefärbte Mischungen auch nach Abnutzungs-, Abrieb- und Alterungsprozessen ihre Farbe, wenn auch nicht mehr den genauen Farbton des Neuteiles. „Neben dem Differenzierungseffekt können dauerhaft eingefärbte Dichtungen auch eine Markenaufwertung bieten, wenn die Dichtungsfarbe auf die Markenfarbpalette des Kunden abgestimmt ist.“¹⁴

Mitunter gibt es auch aktuelle Werkstoffneuentwicklungen für komplexe Anwendungen, die von Anfang an bewusst auf eine andere Farbe als schwarz setzen, um so ein weiteres Differenzierungsmerkmal zu anderen Mitbewerbern zu haben.¹⁵

In der heutigen industriellen Anwendungspraxis von O-Ringen haben sich die Farbempfehlungen der RMA bzw. der ARP-Nachfolgenorm ARP 1832 nicht vollständig durchgesetzt. Recherchiert man bspw. mit der Schlagwortkombination „O-Ring + ARP1832“, findet man so gut wie keine Treffer im Internet. Werkstoffe aus FKM sind neben schwarz auch häufiger in grün anzutreffen und sehr selten im empfohlenen rotbraun. Rotes CR findet man bei den Anwendern kaum. Dichtungen aus VMQ waren wegen der bevorzugten Verwendung von Eisenoxid als Farbpigment, das gleichzeitig als Hitzestabilisator wirkt, schon lange vor diesen Empfehlungen in rostbraun verfügbar.

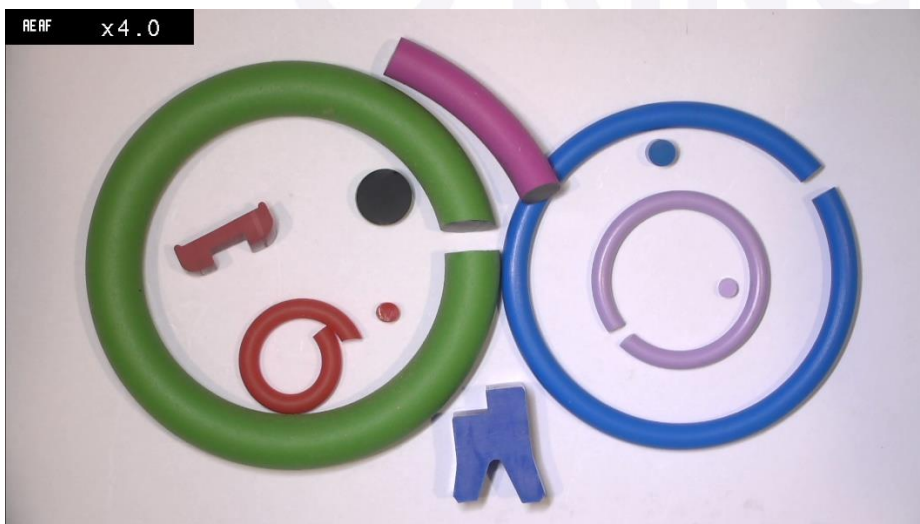


Abb. 6: Beispiele für vollständig eingefärbte (rostbraun, blau und hellviolett) und beschichtete Dichtungen ((dunkelviolett und grün)

Eingefärbte Elastormischungen (durch Farbinjektion vor der Vulkanisation)

Bei der permanenten Farbmarkierung wird bereits im nicht vulkanisierten Rohling eine Farbe injiziert, die dann dauerhaft im Vulkanisat bleibt. Das stellt zwar eine Inhomogenität dar, wurde aber trotzdem teilweise in Luftfahrt- und Militäranwendungen angewendet. Viel verbreiteter ist dort aber die nicht permanente Oberflächenmarkierung.

¹⁴ NGUYEN, Ngoc (Sealing & Shielding Team of Parker TechSeal Division): Sealing Fundamentals Seal Identification Methods: Color Coding, June24, 2014, Onlineartikel (Webseite zuletzt aufgerufen am 26.11.2020: <http://blog.parker.com/sealing-fundamentals-seal-identification-methods%3A-color-coding>)

¹⁵ Beispiel eines hochwertigen grauen HNBR-Werkstoffes für Automobilanwendungen der Fa. Parker Engineered Materials Group, Prädifa Technology Division: FLEISCHER, Maria und KUSCHEL, Rolf: Grauer HNBR-Werkstoff für mehr Produktsicherheit: Unverwechselbar in Grau, März 2016, Artikel online verfügbar auf KGK-Rubberpoint, Webseite zuletzt am 26.11.2020 aufgerufen: <https://www.kgk-rubberpoint.de/16358/unverwechselbar-in-grau/>

Oberflächenbeschichtungen

Mit der Beschichtung von Dichtungsoberflächen können manchmal gleich mehrere Probleme auf einmal gelöst werden. Eine eingefärbte Beschichtung (z.B. auf Basis von PTFE¹⁶) hilft zur Unterscheidung ähnlicher Dichtungen, sie kann aber auch die Gleiteigenschaften einer Dichtung verändern (genauso effektiv wie transparente Beschichtungen¹⁷) und schließlich muss der Dichtungswerkstoff nicht auf die guten Eigenschaften des schwarzen Füllstoffes Ruß verzichten. Ein weiterer Vorteil ist, dass eingefärbte Dichtungen in vielen Einbausituationen leichter als schwarze zu erkennen sind, ein Merkmal das für Qualitätsendkontrollen hilfreich sein kann. Ferner sind beschichtete Dichtungen sehr gut für eine automatisierte Montage geeignet, da sie nicht zum Verkleben neigen.¹⁸ Nachteilig ist, dass sich Beschichtungen im Laufe der Zeit von der Oberfläche lösen können bzw. abgerieben werden. Dies ist problematisch, wenn die Dichtung regelmäßig im Service gewechselt werden muss und so eine wichtige und klare Identifikationsmöglichkeit beeinträchtigt wird.

Wird während einer laufenden Anwendung erkannt, dass eine bereits im Compound eingefärbte Dichtung nicht die geforderten Gleiteigenschaften erreicht, kann eine Beschichtung zur Reibungsreduzierung notwendig werden. In solchen Fällen sind transparente Beschichtungen das Mittel der Wahl, um die bereits eingeführte Identifizierbarkeit der Dichtung (durch die Einfärbung des Compounds) beizubehalten.¹⁹



LABOR

Abb. 7: Ursprünglich schwarzer O-Ring (siehe Schnittfläche) mit einer violetten Beschichtung

Nicht permanente Oberflächenmarkierungen (Einfärbung eines Teiles der Dichtungsoberfläche)

Entweder werden bei dieser Art der Oberflächenmarkierung entweder die Dichtungsoberfläche (durch Eintauchen) oder nur Kontaktflächen mit einem Farbband oder die Querschnittsflächen (z.B. bei Schlauchabschnitten) eingefärbt, um bei der Montage eine leichte Unterscheidung zu ermöglichen. Bei Auswahl der Farbe müssen mögliche Interaktionen der Farbe mit dem Dichtungswerkstoff bzw. den Kontaktmedien, welche abgedichtet werden sollen, überprüft werden.

¹⁶ Vgl. Internetinformation der Fa. Web Seal, Inc., Rochester: <https://websealinc.com/capabilities/color-coding/> (Webseite zuletzt aufgerufen am 26.11.2020)

¹⁷ Vgl. Internetinformation der Fa. Trelleborg: Colored coatings for O-Rings, 11/06/2008: <https://www.tss.trelleborg.com/en/news-and-events/news/coloredcoatingsforo-rings> (Webseite zuletzt aufgerufen am 26.11.2020)

¹⁸ Ebd.

¹⁹ Vgl. PARKER Prädifa (Hrsg.): O-Ring Handbuch, PDF-Ausgabe 10/2019, S. 68 (Vorteile der ParCoat® Beschichtung) Katalog online verfügbar (Webseite zuletzt aufgerufen am 26.11.2020: https://www.parker.com/literature/Praedifa/Catalogs/Catalog_O-Ring-Handbook_PTD5705-DE.pdf)

Nicht permanente Oberflächenmarkierungen (Streifen, Punkte oder Balkencode)

Die Markierung mit Streifen, Punkten oder einem sogenannten Balkencode ist eine kostengünstige, simple und häufig eingesetzte Möglichkeit. Man kann mit einfachen Schablonen auch kleinere Mengen mit einer Spraydose markieren, teilweise können auch Aufdrucke mittels Offset-Druck angebracht werden. Diese Art der Markierung ist meist nicht dauerhaft²⁰, sondern nur für den Montageprozess gedacht. Die Streifen oder Punkte können u.U. so aufgebracht werden, dass sie die Dichtflächen nicht beeinflussen. Streifen werden gerne auf Extrusionsteilen in Extrusionsrichtung aufgetragen (z.B. auf der Außenseite von Schlauchdichtungsringen).

Neben der Funktion der Unterscheidbarkeit, können „Farbstreifen (...) auch die Richtung anzeigen und bei der Dichtungsausrichtung während der Installation helfen.“²¹ Werden bspw. an einem O-Ring vier Punkte in gleichem Abstand aufgebracht und befinden sich an der O-Ring Nut ebenso vier Markierungen im gleichen Abstand, kann man einfach feststellen, ob der O-Ring lokal überdehnt montiert wurde oder nicht.

Oberflächenmarkierungen (Beschriftungen)

Besitzen Dichtungen Flächen, die nicht zum Abdichten verwendet werden, so können diese Bereiche per Druck oder Laser beschriftet werden.²²

Nach Auskunft der BLUHM Systeme (Geschäftsbereich: Laserbeschriftung und Lasergravur) gibt es auch Lasermarkierungen im Elastomerbereich. Es handelt sich aber hierbei um eng mit den Kunden abgestimmte Speziallösungen. Während man im Thermoplastbereich bei minimalster Oberflächenbeeinträchtigung mit der Technik des Farbumschlags markieren kann, ist dies bei Elastomeren nicht möglich. Deswegen sei die Lasermarkierung von Elastomeren auch bei geringsten Energien immer mit einer kleinen Veränderung der Oberfläche verbunden. Im Bereich von gedrehten Kunststoffdichtungen ist eine Laserbeschriftung problemlos möglich.²³

4.2 Rezepturveränderung

Um zu verhindern, dass ein Lieferant ohne Mitteilung seine Rezeptur ändert, empfiehlt es sich diesen Punkt explizit in Lieferverträgen abzusichern und auf die Anzeigepflicht bei Änderungen hinzuweisen. Eine vertrauensvolle Zusammenarbeit mit bewährten Lieferanten kann von Vorteil sein, wenn es zu Auffälligkeiten bzw. Abweichungen kommt. Vor der Diskussion über die analytischen Aspekte bzw. chemischen Details einer Rezeptur sollte aber zuerst die Diskussion über die physikalischen Eigenschaften bzw. über den Grad der Veränderung von physikalischen Eigenschaften stehen, was eben eine sinnvolle Fertigteilspezifikation erforderlich macht.

²⁰ Parker Hannifin Corp., Lexington: Non-permanent marking color coding (Internetinformation, Webseite zuletzt aufgerufen am 26.11.2020: <https://promo.parker.com/promotionsite/seal-solutions-guide/us/home/ci.Non%E2%80%93Permanent-Marking-Color-Coding.EN.EN>)

²¹ NGUYEN, Ngoc (Sealing & Shielding Team of Parker TechSeal Division): Sealing Fundamentals Seal Identification Methods: Color Coding, June24, 2014, Onlineartikel (Webseite zuletzt aufgerufen am 26.11.2020: <http://blog.parker.com/sealing-fundamentals-seal-identification-methods%3A-color-coding>)

²² Beschriftungsbeispiele der Parker Hannifin Corporation, Spartanburg: Part Printing & Marking A TechSeal Value Added Service, PDF-Artikel online verfügbar, Webseite zuletzt abgerufen am 26.11.2020: https://www.parker.com/literature/TechSeal%20Division/Literature%20PDF%20Files/Parker_TechSeal_Part_Printing_and_Marking_TSD_5435.pdf)

²³ Werbebroschüre der Fa. SealConcept, Bobingen: Lasersignierte Dichtungen, PDF-Dokument online verfügbar, zuletzt abgerufen am 26.11.2020: <https://www.sealconcept.com/pdf/laser%20flyer%20seiten.pdf>

4.3 Werkstoff-/Fertigteilspezifikation statt Datenblatt

Datenblätter stellen in der Regel kein belastbares Instrument dar, um Werkstoff- und Dichtungseigenschaften verbindlich bzw. angemessen zu spezifizieren (siehe oben). Nur in Ausnahmefällen gibt es brauchbare Industrienormen wie bei O-Ringen (ISO 3601-5). Am häufigsten treten hier Probleme durch ungenügende Werkstoffspezifikationen bei gestanzten Dichtungen aus Gummiplatten auf, welche, wie oben erläutert, teilweise erheblich in ihren Eigenschaften von den jeweiligen typischen Eigenschaftsprofilen der angegebenen Werkstoffgruppe abweichen. Wer im Bereich der Spezifizierung nicht über ausreichende eigene Kompetenz verfügt, ist gut beraten, Hilfe von unabhängigen Spezialisten in Anspruch zu nehmen.

5. Praxistipps (Prüfmöglichkeiten / Normempfehlungen)

5.1 Prüfmöglichkeiten zur Prävention (Qualifikations- und Wareneingangsprüfungen)

Funktionierende Wareneingangskontrollen – sei es intern oder durch einen externen Dienstleister – sind unabdingbar für die Aufrechterhaltung einer guten und konstanten Produktqualität. Als Minimalumfang ist neben den Maßen, die Überprüfung der Dichte und Härte und wo möglich auch des Druckverformungsrestes zu nennen. Eine angemessene Qualifizierungsprüfung der Gummitteile – ob diese den Anforderungen in der Anwendung auch gerecht werden – sollte natürlich immer voraus gehen.

„Die Dichte ist ein einfaches, aber effektives Hilfsmittel, um in vielen Fällen eine Verwechslung des Compounds auszuschließen. Sie darf sich in einem Toleranzbereich von $\pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ (FKM/FFKM $\pm 0,03 \text{ g/m}^3$) zum Bemusterungswert bzw. dem Mittelwert der Rezeptur bewegen.“²⁴ Durch **Tab. 3** wird ersichtlich, dass die verschiedenen Elastomerfamilien in der Dichte einige Überlappungsbereiche besitzen. Deswegen ist es wichtig, den Dichtewert in Abstimmung mit dem Lieferanten bei der Erstbemusterung mit den oben beschriebenen Toleranzbereichen festzulegen. In manchen Fällen kann aber eine Werkstoffverwechslung ohne Kenntnis des Erstbemusterungswertes bereits an den großen Dichteunterschieden erkannt werden (z.B. Verwendung von EPDM statt FKM).

²⁴ RICHTER, Bernhard und BLOBNER, Ulrich: Fachwissen Prüfverfahren für Elastomere: Identitätsprüfungen: Übereinstimmungen finden, 03/2014, Onlineinformation des O-Ring Prüflabor Richter: https://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_identit_tspr_fung_03_2014.pdf

Typische Dichtebereiche [g/cm ³]	Elastomerbasis
1,00 – 1,30	EPDM, EPM
1,10 – 1,45	NBR
1,10 – 1,40	HNBR
1,10 – 1,45	VMQ
1,20 – 1,40	ACM, AEM
1,25 – 1,50	ECO bleifrei
1,30 – 1,50	CR
1,40 – 1,60	FVMQ
1,80 – 2,60	FKM
1,90 – 2,40	FFKM

Tab. 3: Übliche Dichtebereiche wichtiger technischer Elastomercompounds

Weiterführende Informationen zur Durchführung der Härte- und Druckverformungsrestprüfung im Wareneingang finden Sie hier:

Kurzversion: https://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_o_ringe_qs_an_o_ringen_kurz_08_2018.pdf

Langversion: https://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_o_ringe_qs_an_o_ringen_lang_08_2018_1.pdf

In manchen Wareneingangsprüfungen sind auch Kurzzeitquellungen üblich. Gerade mit dieser Prüfung lassen sich schwerwiegende Materialverwechslungen schnell erkennen.

5.2 Prüfmöglichkeiten zum Nachweis einer Werkstoffverwechslung

Kommt es nun zu einem gravierenden Schadensfall durch eine verwechselte Dichtung, empfiehlt sich eine umfassende Analyse. Neben den bereits in 5.1 beschriebenen Methoden, können je nach Fragestellung noch weitere Prüfungen aus dem Bereich der physikalischen (TGA, DSC, DMA, LNP nano touch®) und chemischen Analytik (FTIR, GC-MS) durchgeführt werden. Hier ist insbesondere der große Nutzen einer FTIR-Analyse hervorzuheben, welche ein schnelles und belastbares Ergebnis mit einer hohen Auflösung liefern kann.

Weiterführende Informationen und verständliche Erklärungen finden Sie hier:

Physikalische Analytik: https://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_physikal_analytik_07_2017.pdf

Chem. Analytik: https://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_pruefverfahren_sonderausgabe_dicht.pdf, siehe S. 20-22

5.3 Prüfmöglichkeiten zum Nachweis einer Rezepturänderung

Besteht der Verdacht auf eine Rezepturänderung, können die folgenden Prüfverfahren weiterhelfen:

FTIR-Analyse: Diese liefert schnell einen belastbaren Hinweis auf das Polymer. Wird das Extrakt untersucht, können durch einen Vergleich mit Erstmustern auch teilweise geringe Veränderungen bei den verwendeten Mischungskemikalien gefunden werden. Die FTIR-Analyse beschreibt sozusagen den qualitativen Aufbau einer Rezeptur.

TGA-Analyse: Sie gibt Hinweise auf den Gehalt an Polymer, Weichmacher und Füllstoffe und kann diesbezüglich Veränderungen anzeigen. Die thermogravimetrische Analyse liefert damit eine quantitative Beschreibung des Aufbaus der Rezeptur.

GC-MS-Analyse: In Verbindung mit einer Thermodesorption oder einer Pyrolyse kann man die einzelnen Bestandteile einer Rezeptur noch besser auflösen als mittels FTIR. Dies ist nicht immer von Vorteil, da auch bereits kleine Veränderungen bei den Verarbeitungshilfsmitteln angezeigt werden, was in der Regel aus anwendungstechnischer Sicht keinen Einfluss hat. Der Nutzen dieser Methode liegt vor allem in der Schadensanalyse.

Mittels DSC-Analyse können eventuelle Veränderungen bezüglich der Glasübergangstemperatur in einem Polymer erkannt werden und mit Hilfe einer DMA können Unterschiede im dynamischen Verhalten beschrieben werden, über den Phasenunterschied zwischen Kraft und Weg ($=\tan \delta$). Der Einsatz einer REM-EDX-Analyse kann dann zum Beispiel Sinn machen, wenn es um inhomogene Verteilung von Mischungsbestandteilen geht (Füllstoffagglomerate).

6. Sonstiges

Dieser Artikel erscheint in einer Kurzfassung in der Zeitschrift DICHT!, Ausgabe 01/2021.

Link zu den Digitalausgaben dieser Zeitschrift:

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

PRÜFLABOR

RICHTER