

# FACHWISSEN SCHADENSANALYSE VON ELASTOMERBAUTEILEN

Ein Angebot des

**O RING**  
**PRÜFLABOR**  
**RICHTER**

PRÜFEN BERATEN ENTWICKELN

Quelle: [www.o-ring-prueflabor.de](http://www.o-ring-prueflabor.de)

Stand der Information: 10/2021

## **Ausfall durch mangelhafte Gummirezeptur – Die Mischung macht's!**

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

### **1. Einordnung und Häufigkeit des Schadensbildes**

Bei der Herstellung hochwertiger technischer Elastomere spielt neben der Verarbeitung und der Qualität der Mischungsbestandteile die eigentliche Mischungszusammensetzung eine bedeutende Rolle.

Eine schlechte Rezepturqualität bedeutet, dass der Konstrukteur bzw. Entwickler im Prinzip die richtige Auswahl des benötigten Elastomers getroffen hat, jedoch eine Werkstoffausführung erhalten hat, die nicht dem Stand der Technik entspricht. Letztlich wurde dabei die mögliche (auch ins Negative reichende) Vielfalt bei einer Rezepturgestaltung unterschätzt. Als Folge dieser Unterschätzung können Schäden aus den ersten drei Hauptschadensmechanismen „Medien“ (z.B. erhöhte Quellung, schneller chemischer Angriff), „Temperatur/Alterung“ (z.B. Überhitzung) und „Mechanisch/Physikalische Einwirkungen“ (z.B. erhöhter Abrieb) auftreten:

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

## 2. Fachliches Hintergrundwissen zum Schadensbild

Die Ursache dieses Schadensmechanismus liegt nicht in einer fehlerhaften Auswahl, sondern in einem Eigenschaftsbild der Mischung, welches nicht dem Stand der Technik entspricht.

### 2.1 „Stand der Technik“ bei Gummimischungen

Ein Anwender von Elastomerdichtungen kann den Stand der Technik auf verschiedenen Wegen herausfinden. Der Stand der Technik wird durch Eigenschaftsprofile von Elastomercompounds wiedergegeben. Das Wichtigste an der Definition eines Eigenschaftsprofiles sind die Prüfparameter/-methoden, mit welchen es beschrieben wird. Die Auswahl geeigneter Prüfparameter erfordert viel Erfahrung und Fachwissen und wird im Kap. 4 und 5 näher beschrieben. Häufig werden die Eigenschaftsprofile von Standardmischungen großer Dichtungshersteller (z.B. NBR70, FKM70-80, EPDM 70, VMQ70, HNBR 70 usw.) als Referenz genommen. Dies kann sowohl mit Hilfe von Datenblattangaben als auch durch vergleichende Prüfungen der eigenen mit der Referenzmischung erfolgen. Reine Datenblattangaben reichen aber oft nicht aus, um den Stand der Technik hinreichend zu beschreiben bzw. zu definieren.

Hat man bereits ähnliche Anwendungen, in welchen eine bestimmte Mischung mit Erfolg eingesetzt wird, kann deren Eigenschaftsprofil als Vorlage genommen werden.

Werkstoffspezifikationen großer Industriekonzerne können ebenfalls eine hilfreiche Quelle sein. Dabei ist besonders zu beachten, dass es sich um aktuelle bzw. aktualisierte Spezifikationen handelt. Werden genaue Einsatzbereiche für die jeweiligen Spezifikationsklassen angegeben, so kann dies eine gute Zusatzinformation darstellen. Nachteilig ist jedoch, dass diese Werksnormen in der Regel nicht frei zugänglich sind.

Für die meisten Standardindustrieanwendungen wird der Stand der Technik sehr gut in den Vorgaben der ISO 3601-5 wiedergegeben. Diese internationale Norm kann durch jeden Interessierten problemlos erworben werden. Da es sich bei ISO Normen um Vorgaben handelt, die in einem Konsensverfahren eines internationalen Gremiums erstellt werden, kann man davon ausgehen einen objektiv guten Stand der Technik zu erhalten. Werden Dichtungen aber in besonderen Umgebungen bzw. mit Spezialanforderungen eingesetzt, sollten diese Bereiche durch zusätzliche Prüfanforderungen abgesichert werden.

### 2.2 Typische Schadensbeispiele für fehlerhafte Mischungsrezepturen

Als Folge einer schlechten Mischungsrezeptur können sicher mehr als die Hälfte aller häufigen Schadensmechanismen von Gummidichtungen auftreten. Der Mechanismus dieser Dichtungsschäden wird im Folgenden nicht detailliert beschrieben, weil dies bereits bei den einzelnen Schadensmechanismen erfolgt ist. Außerdem erhebt die folgende Übersicht keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da die Mischungsentwicklung ein sehr komplexes Feld<sup>1</sup> ist, mit ei-

<sup>1</sup> Dem interessierten Leser kann u.a. folgende weiterführende Literatur empfohlen werden:

RÖTHEMEYER, Fritz und SOMMER, Franz: Kautschuktechnologie: Werkstoffe- Verarbeitung – Produkte, Carl Hanser Verlag, 2006

DICK, John S.: How to Improve Rubber Compounds: 1800 Experimental Ideas for Problem Solving, Carl Hanser Verlag, 2014

DICK, John S.: Rubber Technology: Compounding and Testing for Performance, Carl Hanser Verlag, 2020

GRAF, Hans-Joachim: 50 Best Practices: Rubber Compounding & Processing, epubli, 2021

ner Unzahl von Fehlermöglichkeiten. Wegen der vielen Freiheitsgrade bei der Rezepturgestaltung kann das Thema letztlich jede Polymerfamilie betreffen, bei EPDM-Elastomeren treten rezepturbedingte Probleme aber mit Abstand am häufigsten auf, weshalb sich viele der folgenden Beispiele auf diese Werkstoffgruppe beziehen.

### 2.2.1 Hohe Weichmachergehalte

Weichmacher können in Elastormischungen eine Vielzahl von Funktionen erfüllen. Neben der Verbesserung von Verarbeitungseigenschaften (gesteigerte Fließfähigkeit) und von physikalischen Eigenschaften (z.B. Kälteverhalten) werden Weichmacher auch zum Strecken von Mischungen (Kosteneinsparung) eingesetzt.

#### **Schadensbeispiele aus der Praxis**

Typische Schäden entstehen bei NBR-Werkstoffen mit 70 ShA, wenn die Weichmachergehalte größer 15 Gewichts-% betragen. Dies wird teilweise bei O-Ring Mischungen mit einer Nennhärte von 70 ShA vorgefunden. In Standardhydraulikölen kann bei solchen Compounds ein Schwund von mehr als 15 Gewichts- oder Volumen-% auftreten. Dies geschieht durch Extraktion des Weichmachers durch das Hydrauliköl. Durch den Schwund kann die Verpressung der Dichtung unterhalb einer kritischen Schwelle fallen, so dass es zur Leckage kommt.

Außerdem tauchen immer wieder Schäden an EPDM-Dichtungen auf, deren Rezepturen Weichmacheranteile von 15 bis sogar 40% aufweisen (**Abb. 1**). In der Anwendung kann es zu einer Extraktion (**Abb. 2**) und/oder einem Ausgasen (begünstigt durch hohe Temperaturen) kommen. Der daraus folgende Schrumpf der Dichtung kann zu Leckage führen.

### 2.2.2 Ungeeignetes Vernetzungssystem

Die meisten Elastomere werden entweder mit Schwefel oder Peroxiden vernetzt. Dies ist abhängig vom Basispolymer. Es gibt wenige Ausnahmen, welche sowohl mit Schwefel als auch mit Peroxiden vernetzt werden können, wie z.B. EPDM und HNBR. Der Hauptvorteil einer Schwefelvernetzung ist die leichtere Verarbeitbarkeit, was sich in einem günstigeren Preis niederschlägt.

#### **Schadensbeispiele aus der Praxis**

Es ist allgemein bekannt, dass schwefelvernetzte EPDM-Werkstoffe schlechtere Druckverformungsreste als peroxidisch vernetzte aufweisen. Bei schwefelvernetztem EPDM für den Heißwassereinsatz (max. 75°C) kann eine übermäßig hohe und für die Anwendung kritische bleibende Verformung bereits nach ein bis zwei Jahren auftreten. Um dem vorzubeugen, werden EPDM O-Ringe nach ISO 3601-5 mit einem Zusatz versehen (z.B. EPDM P 70 = peroxidisch vernetzt, Nennhärte 70 IRHD,M, EPDM S 70 = schwefelvernetzt, Nennhärte 70 IRHD,M) HNBR-Dichtungen mit einem Schwefelvernetzungssystem haben bezüglich des Druckverformungsrestverhaltens gegenüber normalen NBR-Dichtungen keinen signifikanten Vorteil.

---

DAS GUPTA, Saikat; BHOWMICK, Anil K. et al. Reverse Engineering of Rubber Products: Concepts, Tools and Techniques, CRC Press Taylor & Francis Group, 2017

### 2.2.3 Ungeeignetes Polymer / Polymerverschnitte

Das Polymer ist in der Regel der wichtigste Inhaltsstoff einer Gummimischung, der maßgeblich über wichtige physikalische Eigenschaften und chemische Beständigkeiten entscheidet. Innerhalb eines Polymers (wie z.B. NBR, FKM, EPDM usw.) können unzählige Varianten (engl. „grades“) von den Polymerherstellern bezogen werden. Der Mischungsentwickler wählt dezidiert aus dieser Variantenvielzahl aus, um seine Rezepturen verarbeitungsfreundlich und kostengünstig zu gestalten, insbesondere wenn keine weiteren Vorgaben an Eigenschaftsprofile vorliegen.

Eine weitere Möglichkeit der Kostenersparnis sind Polymerverschnitte, d.h. die Mischung unterschiedlicher Polymere (z.B. EPDM mit SBR oder NR oder NBR mit SBR). Diese Polymerverschnitte werden in der Praxis nicht immer deklariert.

#### **Schadensbeispiele aus der Praxis**

Wie oben erwähnt, tauchen deshalb „EPDM“-Dichtungen in der Schadensanalyse mit Ozonrissen auf. Reines EPDM ist eigentlich sehr gut ozonbeständig. Liegt aber ein Verschnitt von EPDM mit SBR bzw. NR (**Abb. 3**) vor, können sich bei entsprechender Beanspruchung Ozonrisse bilden. NBR-/SBR-Verschnitte werden oft als Plattenware bzw. als Flachdichtungen verkauft. Hier kann es zu einer unerwartet hohen Quellung in Öl kommen.

Durch einen zu hohen Ethylengehalt im EPDM-Polymer können sich kristalline Sequenzen bilden. Diese behindern je nach Ausprägung der kristallinen Sequenzen die Rückstellung einer Dichtung in der Kälte erheblich, so dass es zu unerwarteten Leckagen weit oberhalb von der Glasübergangstemperatur von EPDM (<-40°C) kommen kann.

Bei HNBR-Werkstoffen mit einem zu geringen Sättigungsgrad im Polymer und/oder bei einem Verschnitt von HNBR mit NBR können ebenso im Außeneinsatz Ozonrisse auftreten, obwohl HNBR in der technischen Literatur als gut ozonbeständig eingestuft wird. Dies gilt aber eben nur für spezielle HNBR-Polymervarianten.

Polymerblends (=Polymerverschnitte) aus NBR und SBR zeigen auf Grund der SBR-Beimischung eine hohe Quellung in Ölen, obwohl der Anwender die gute Ölbeständigkeit eines NBR erwartet, falls der Verschnitt nicht deklariert wurde.

### 2.2.4 Ungeeignete Füllstoffe

Man unterscheidet zwischen aktiven und inaktiven Füllstoffen. Erstere werden meist zur Verbesserung mechanischer Eigenschaften (z.B. Erhöhung der Werkstoffhärte oder Ruße zur Verstärkung der Festigkeit) eingesetzt. Die inaktiven Füllstoffe dienen dem Verstrecken von Mischungen, also der Kostenoptimierung.

#### **Schadensbeispiele aus der Praxis**

Bei EPDM-Werkstoffen im Heißwasserkontakt kann es zu Problemen kommen, wenn nicht heißwassertaugliche helle Füllstoffe (**Abb. 4**) eingesetzt werden. Bei der Verwendung hydrophiler Füllstoffe kann es zu einer starken Quellung und/oder einer Autoxidation durch Verunreinigungen in den Füllstoffen kommen.

### 2.2.5 Fehlende Schutzmittel

Je nach Anforderung werden Gummimischungen schützende und stabilisierende Chemikalien beigemischt, wie z.B. Ozonschutzwachse.

### Schadensbeispiele aus der Praxis

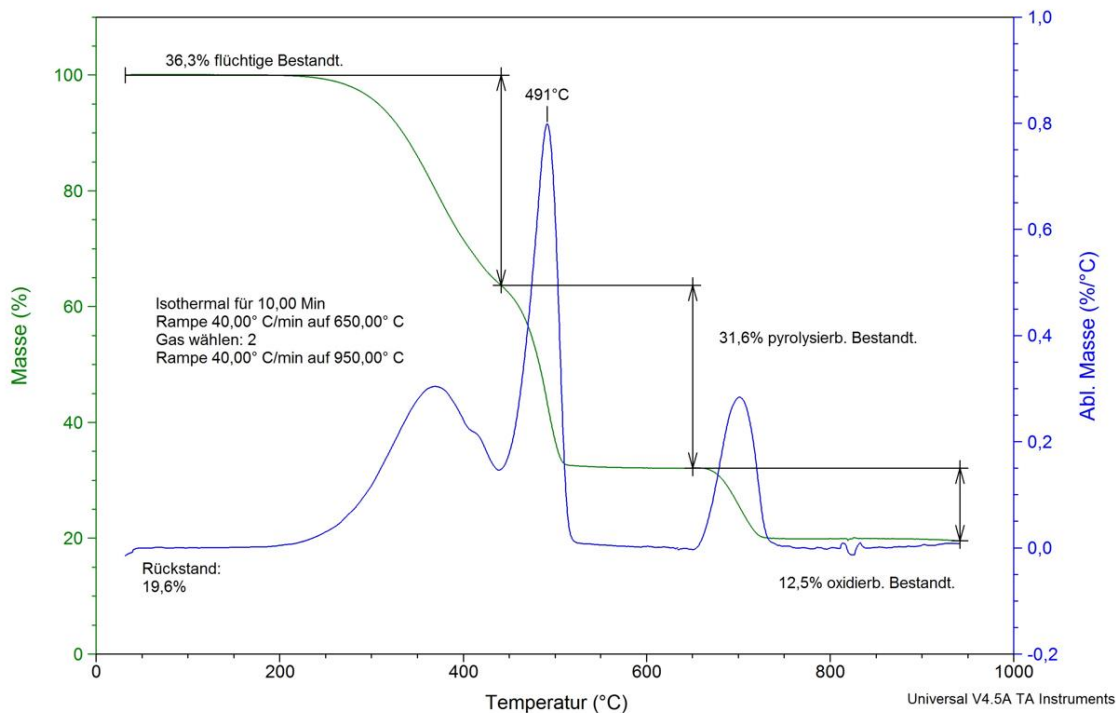
Werden Polyesterurethankautschuke (AU) ohne Hydrolyse-Schutzmittel hergestellt, kann es schon nach wenigen Jahren bei Umgebungstemperatur und normaler Luftfeuchtigkeit zu markanten Schäden durch hydrolytischen Abbau (**Abb. 5**) kommen.

Werden FKM-Werkstoffe in Säure eingesetzt, besitzen aber nur ein Standard-Säureakzeptorsystem (MgO+CaOH), kann dies zu einer sehr starken Quellung (z.B. in Salzsäure >100%) führen.

## 3. Schadensbild

### 3.1 Beschreibung des Schadensbildes und problematischer Bereiche

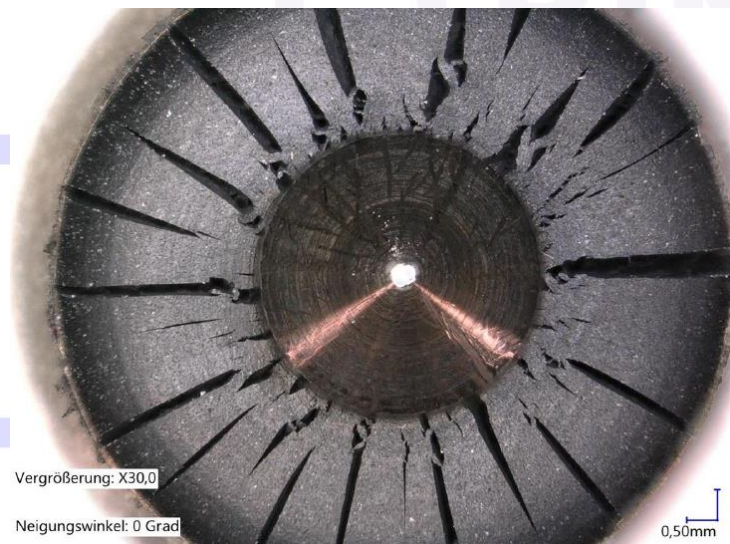
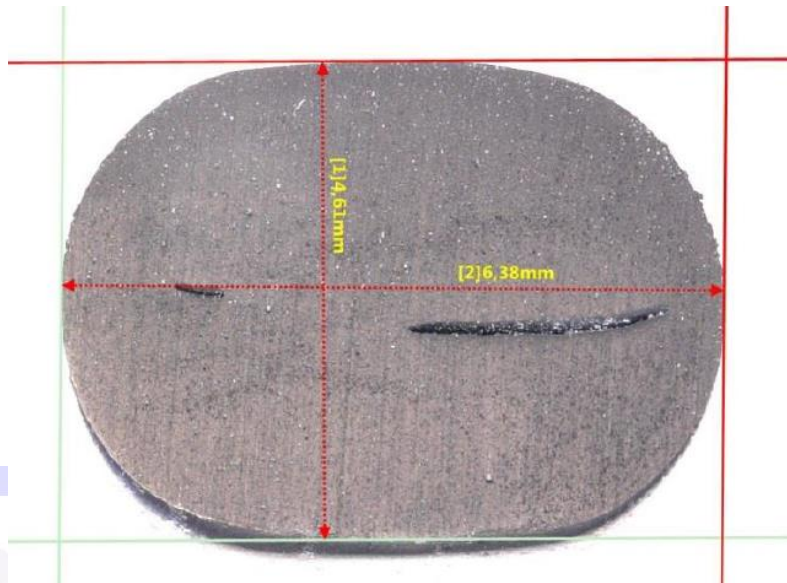
Wie bereits oben erläutert, können die Schadensbilder sehr vielfältig sein. Oft findet man eine hohe bleibende Verformung und/oder einen Schwund und eine starke Härtezunahme. Letztlich gibt es aber kaum einen Schadensmechanismus, der nicht durch eine schlechte Rezepturqualität hervorgerufen werden kann, wie die obigen Beispiele zeigen (Ozonrisse und Quellung/Autoxidation).



**Abb. 1:** Thermogravimetrische Analyse (TGA) einer EPDM-Rezeptur mit ca. 35% Weichmacherteile (Neuzustand)

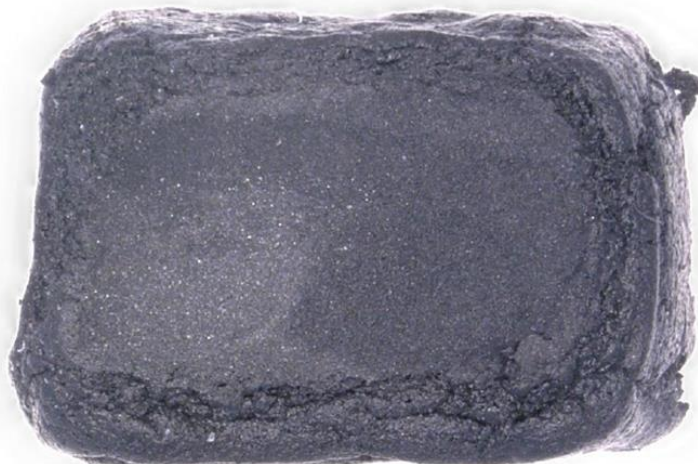


**Abb. 2:** Der EPDM O-Ring ist um 15% (Vol.) geschrumpft durch eine stattgefundene Weichmachereextraktion und hat dadurch in der Härte von 80 auf 95 IRHD zugenommen

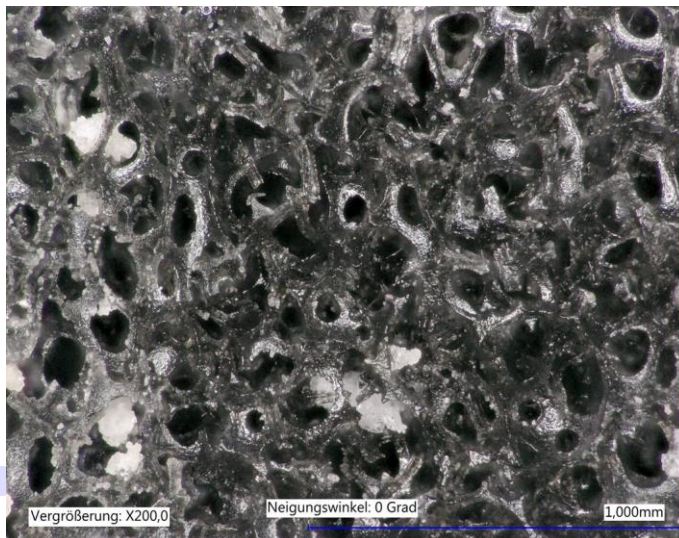


**Abb. 3:** Durch Ozonrisse ausgefallene „EPDM“-Kabeldurchführung. Ursache-Die Rezeptur besteht aus einem Verschnitt von EPDM und NR. Eine Bestellbezeichnung „EPDM“ schließt dies nicht aus.

**Abb. 4:** EPDM-Werkstoff für den Lebensmitteleinsatz, der durch ungeeignete Füllstoffe durch die Dampfsterilisation angequollen und sogar depolymerisiert wurde



**Abb. 5:** AU-Polyurethanschaum, nach einigen Jahren zersetzt durch Hydrolyse infolge einer nicht hydrolysestabilisierter Rezeptur



### 3.2 Auswirkungen des Schadens

Da bei einer schlechten Mischungsrezeptur die Dichtungsschäden sehr vielfältig sein können, gibt es auch die unterschiedlichsten Schadensauswirkungen. Diese können von Leckagen in der Kälte (z.B. bei einer erhöhten Kristallisationsneigung des Polymers) bis hin zu Totalausfällen eines Dichtsystems (z.B. hohe bleibende Verformung) reichen.

### 3.3 Abgrenzung zu ähnlichen Schadensbildern

Die Abgrenzung zu anderen Schadensbildern erfordert profunde Kenntnisse über den Stand der Technik bezüglich Rezepturqualität verbunden mit anwendungstechnischem Wissen. Das bedeutet letztlich, dass man bei jeder Schadensanalyse überprüfen sollte, ob ein schlechter Stand der Technik allein schon das gefundene Schadensbild erklärt, bevor man von einer unzulässigen thermischen, chemischen oder physikalischen Beanspruchung als Ursache ausgeht.

## 4. Präventionsmaßnahmen

Je besser die tatsächlichen Einsatzbedingungen im Vorfeld eingeschätzt bzw. durch Versuche herausgefunden werden können, umso höher ist die Wahrscheinlichkeit, ein zuverlässig funktionierendes Dichtsystem zu bekommen.

Es gibt einen Trend, dass Lastenhefte immer öfter evolutionär nach einer Art „trial and error“-Prinzip entstehen. Jedoch empfiehlt es sich, dass in neuartigen komplexen Dichtungsanwendungen die Randbedingungen in aussagekräftigen Lastenheften klar abgesteckt werden.

Der schwierigste Part besteht nun darin, diese Randbedingungen in eine Werkstoffspezifikation mit entsprechenden Prüfnormen zu übersetzen. Die Werkstoffspezifikation sollte so formuliert sein, dass sie zum einen nur wirklich notwendige Prüfungen und Grenzwerte festlegt, aber zum anderen auch mögliche Auslegungsspielräume zu Lasten der Qualität so klein wie möglich hält.

Hierzu gibt es mehrere Wege: Bei Standardanwendungen genügt es meist die passende Polymerfamilie nach den Kontaktmedien und max. Temperaturen auszuwählen und dann Werkstoffe nach dem Stand der Technik zu bestellen wie er bspw. in Spezifikationen großer Maschinenbauer oder in der ISO 3601-5 festgelegt ist. Bei neuartigen oder komplexen Anwendungen empfiehlt es sich die Expertise von erfahrenen Dichtungslieferanten bei der Rezepturauswahl heranzuziehen. Bewährt sich die gewählte Rezeptur in der Anwendung bzw. in den Praxistests, sollten alle wesentlichen Kennwerte der Rezeptur gemessen werden (wie Härte, Zugfestigkeit, eventuell Weiterreißwiderstand, Wärmebeständigkeit, Medienbeständigkeit und Kälteflexibilität). Die Messungen sollten möglichst an Serienteilen durchgeführt werden und es sollten hierzu sinnvolle Sollwerte definiert werden. Dabei kann natürlich ein qualifiziertes und akkreditiertes Prüflabor wertvolle Unterstützung leisten. Bei Rezeptur- oder Lieferantenwechseln ist eine gründliche Prüfung bzw. ein Vergleich mit dem aktuellen Zustand unerlässlich.

Schließlich ist eine ausreichende Qualifikation von Konstrukteuren und Entwicklern mit Gummifachwissen eine wichtige Voraussetzung, diese Thematik des Rezeptureinflusses nicht zu unterschätzen. So erhält man zuverlässige und dadurch kostenoptimierte Dichtungslösungen. Ein Konstrukteur bzw. Entwickler sollte in der Lage sein, in der firmeninternen Diskussion Entscheidern darzulegen, worin die Unterschiede zu Rezepturen von deutlich günstigeren Lieferanten (wenn das der Fall ist) liegen und warum diese Unterschiede wichtig sind.

## 5. Praxistipps (Prüfmöglichkeiten / Normempfehlungen)

### 5.1 Orientierung für Standardanwendungen: Die O-Ring Norm ISO 3601-5

Da die ISO 3601-5<sup>2</sup> ein sehr hilfreiches Werkzeug für den Dichtungsanwender sein kann und das nicht nur für O-Ringe, wird ihr Aufbau im Folgenden näher erklärt:

„Da bei O-Ringen wie bei anderen Elastomerdichtungen auch Rezepturqualität und Verarbeitungsqualität multiplikativ miteinander verknüpft sind, das heißt, das Eine ohne das Andere keinen Wert hat, bestand die wohl größte Herausforderung der neuen Norm wohl darin, sowohl Rezepturanforderungen zu definieren als auch Vorgaben für den Vernetzungsgrad der O-Ringe zu machen und hierzu einen Konsens auf internationaler Ebene zu finden. Darüber hinaus musste aber auch festgelegt werden, auf welche Werkstoffgruppen sich denn die Norm überhaupt beziehen soll.

Dieser Punkt wurde wie folgt gelöst (siehe Tabelle 1 der Norm, NB: Die Zahl hinter dem Elastomer ist die Härte in IRHD,M):

- NBR 70/90-schwefelvernetzt (S)
- NBR 70/90-peroxidvernetzt (P)
- HNBR 75/90
- FKM 70/75/80/90
- VMQ 70

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



- EPDM 70/80- schwefelvernetzt (S)
- EPDM 70/80- peroxidvernetzt (P)
- ACM 70

Damit wurden immerhin 16 Werkstoffe definiert, wobei sicherlich darüber diskutiert werden kann, ob ein schwefelvernetzter EPDM-Werkstoff oder ein ACM-Werkstoff zum Standard-Repertoire von O-Ring Werkstoffen gehört, dagegen ein FVMQ und FFKM Werkstoff fehlt.

### 5.1.1 Härtevorgaben in der neuen ISO Norm 3601-5

Der wichtigste Aspekt der Norm findet sich aber dann in der Tabelle 2 der ISO 3601-5, bei der für alle oben beschriebenen Werkstofffamilien jetzt auch Härtewerte direkt an den O-Ringen definiert sind und ebenso Druckverformungsrestwerte. Damit stellen diese beiden oben beschriebenen Prüfungen das Grundgerüst dieser Norm dar, jetzt aber nicht als Werkstoffkennwert, wie es dem typischen Anwender bekannt ist, sondern eben als Fertigteilprüfung. Und das für Schnurstärken ab ca. 1 mm (kleinste Abmessung nach ISO 3601-1 0,74x1,02 mm). Bezüglich Härtemessung (IRHD nach ISO 48 M bzw. CM) ist dazu anzumerken, dass mit dem Stand der Technik bei O-Ringen ab 1 mm Schnurstärke durch einen lasergeführten Messtisch (wie ihn mehrere Härteprüfgerätehersteller anbieten) eine personenunabhängige gut reproduzierbare Härte-Messung möglich ist. Zudem lässt die Tabelle 2 der Norm für O-Ringe mit einer Schnurstärke von < 1,6 mm einen um 3 Punkte nach unten erweiterten Härtebereich (+5/-8) zu. Erfahrungsgemäß wird der geometriebedingte Einfluss der geringeren Materialverdrängung bei O-Ringen kleiner Schnurstärken beim Eindringen der Härtenadel durch ein bei der Vulkanisation höher verdichtetes und vernetztes Material eben auch infolge des höheren Verhältnisses der freien Oberfläche zur Masse der O-Ringe wieder kompensiert.

### 5.1.2 Druckverformungsrestvorgaben in der neuen ISO Norm 3601-5

t=24h	<b>NBR S 70</b>	<b>HNBR 75</b>	<b>FKM 70/75/80</b>	<b>EPDM P 70/80</b>
<b>Prüf-T [°C]</b>	100	150	200	150
<b>DVR max, [%]</b> (d2 min.=2,62mm)	35	40	25	30
<b>DVR max, [%]</b> (d2 < 2,00 mm)	40	45	30	35

**Tab. 1:** Druckverformungsrest-Sollwerte der wichtigsten O-Ring Werkstoffe nach ISO 3601-5 (Serien O-Ringe)

t=336h	<b>NBR S 70</b>	<b>HNBR 75</b>	<b>FKM 70/75/80</b>	<b>EPDM P 70/80</b>
<b>Prüf-T [°C]</b>	100	125	175	125
<b>DVR max. [%]</b>	60	60	40	40

**Tab. 2:** Druckverformungsrest-Sollwerte der wichtigsten O-Ring Werkstoffe nach ISO 3601-5 (Norm-Testknöpfe B)

Bei der Druckverformungsrestprüfung an diesen kleinen Schnurstärken ist natürlich zu berücksichtigen, dass sich hier wegen der höheren Messunsicherheiten bei der Höhenmessung größere zufällige Streuungen ergeben können, was ebenfalls zu einer Erweiterung der Sollwerte bei Schnurstärken von kleiner als 2 mm um 5% geführt hat. Zudem zeigt die jahrelange Praxis

im Prüflabor Richter, dass die in Tab. 2 angegebenen Grenzwerte mindestens um 10-15% (absolut) höher sind als das, was als technologisch auch in großen Stückzahlen und unter Berücksichtigung zufälliger Streuungen machbar ist. So stellt ein Sollwert von 24h/150°C von <35% für einen peroxidisch vernetzten EPDM 70 O-Ring z.B. mit einer Schnurstärke von 1,5 mm keinen besonders scharfen Grenzwert dar. Im Prüflabor Richter werden solche O-Ringe schon über viele Jahre hinweg mit Ergebnissen von ca. 10-20% überprüft, und das nicht von den „Premium O-Ring Lieferanten“ hergestellt, sondern eher von welchen aus der zweiten Reihe.

Die Werkstoffkennwerte Härte (IRHD) und Druckverformungsrest werden aber natürlich auch als Vorgaben zur Beschreibung der Rezepturqualitäten benötigt, die sich in den Tabellen 3 bis 10 der ISO 3601-5 wiederfinden. Der entscheidende Unterschied in diesen Tabellen liegt allerdings darin, dass sich diese Anforderungen ausschließlich auf Normprobekörper beziehen, d. h. auf ideal vulkanisierte Prüflinge, welche in der Regel in einem Labor hergestellt werden. Dazu gehört auch der Norm O-Ring 24,99 x 3,53, der alternativ zu den üblichen Normprobekörper für die Härte, den Druckverformungsrest und den Zugversuch verwendet werden darf. Besonders hervorzuheben an den Sollwerten für den Druckverformungsrest ist, dass neben den Kurzzeit-Vorgaben für 24 und 72 h auch durchweg Sollwerte für 2 Wochen Prüfzeit definiert sind. Ein guter Kurzzeit Druckverformungsrestwert ist eben noch kein Garant für ein gutes Langzeitverhalten. Einflüsse des Polymers (z.B. Diengehalt beim EPDM), der Viskosität des Polymers oder des Weichmachergehaltes in der Rezeptur können zu erheblichen Unterschieden von Elastomerwerkstoffen mit gleichem Kurzzeitverhalten führen. Daher ist der Anwender von O-Ringen auch bezüglich der Rezepturvorgaben gut beraten, diese Norm anzuwenden.

### 5.1.3 Vorgabewerte für den Zugversuch in der neuen ISO Norm 3601-5

Auch in der Zugfestigkeit bilden sich Eigenschaften ab, die nicht nur auf die Belastungsgrenzen, sondern auch im begrenzten Maße auf das Langzeitverhalten schließen lassen. Eben der oben genannte Einfluss einer niedrigen Viskosität des Polymers bzw. eines niedrigen mittleren Molekulargewichts führt zu niedrigeren Zugfestigkeitswerten, sowie auch die unangemessene hohe Menge an Weichmachern in der Rezeptur. Somit stellt die Zugfestigkeit schon ein wichtiges Kriterium für die Güte einer Rezeptur dar, auch wenn die Belastungsgrenzen selber nur in wenigen Anwendungen wichtig werden, wie zum Beispiel bei dynamisch beanspruchten O-Ringen oder bei Anwendungen mit hohen Drücken.

ISO 37	NBR S 70	HNBR 75	FKM 70/75/80	EPDM P 70/80
<b>Zugfestigkeit</b> [MPa]	12	16	10	10
<b>Reißdehnung</b> [%]	250	200	150	150/120

**Tab. 3:** Geforderte Zugfestigkeiten der wichtigsten O-Ring Werkstoffe nach ISO 3601-5 (Normprüfstäbe)

### 5.1.4 Vorgabewerte für die Heißluftalterung in der neuen ISO Norm 3601-5

Die zusätzlich oben aufgeführte Prüfung der Heißluftlagerung stellt sozusagen jetzt die dritte Art der Absicherung der Rezepturqualität dar, weil eben die zuvor genannten Einflüsse des

Polymers und der Weichmacher auch die Wärmebeständigkeit negativ beeinflussen können. Gleichzeitig erhält der Anwender eine realistische Vorstellung davon, wie stark sich der Werkstoff unter Einwirkung hoher Temperaturen verändert. Hierzu werden Vorgaben nach 70 und nach 168h gemacht.

t=168h	<b>NBR S 70</b>	<b>HNBR 75</b>	<b>FKM 70/75/80</b>	<b>EPDM P70/80</b>
<b>Prüf-T [°C]</b>	100	150	200	150
<b>Änd. Härte [IRHD,M]</b>	max.+10	max. +10	max. 6	max. 12/10
<b>Änd. Zugfestigkeit [%]</b>	+/-25	+/-25	+/-15	+/-40
<b>Änd. Reißdehnung [%]</b>	+/-40	+/-30	+/-25	+/-50

**Tab. 4:** Geforderte Heißluftbeständigkeit der wichtigsten O-Ring Werkstoffe nach ISO 3601-5 (Normprüfstäbe)

Damit ist zu erkennen, dass diese oben genannten Werkstoffprüfungen doch auch heute noch eine große Bedeutung haben, und aus der betrieblichen Praxis der Dichtungsanwender nicht wegzudenken sind.

Der Vollständigkeit halber soll zum Schluss noch erwähnt werden, dass die neue ISO 3601-5 zusätzlich im begrenzten Maße auch Vorgaben macht bezüglich Quellbeständigkeit und Kälteflexibilität, was bspw. unter<sup>3</sup> ausführlicher erläutert wird. Damit finden sich in dieser Norm für alle wichtigen Werkstoffeigenschaften angemessene Grenzwerte, was eine hohe Akzeptanz bei den Anwendern erwarten lässt.<sup>4</sup>

## 5.2 Häufiger eingesetzte Zusatzprüfungen zur Absicherung besonderer Eigenschaften

Es gibt eine Vielzahl an besonderen Prüfverfahren, um bestimmte Anforderungsprofile an Werkstoffe abzusichern. Besonders aus Kostengründen, sollte man beim Prüfen die Vorgehensweise „Viel hilft viel“ möglichst vermeiden. Mitunter lassen sich mit wenigen innovativen Prüfverfahren mehrere besondere Anforderungen absichern. Die Kosten für eine fachliche Beratung zur Festlegung eines sinnvollen Prüfumfanges lassen sich schnell amortisieren, wenn dadurch überflüssige und nicht aussagekräftige Prüfungen langfristig vermieden werden können. Außerdem wird auch so möglichen Dichtungsausfällen vorgebeugt.

Die folgende Tabelle soll nur einen exemplarischen Überblick über häufig eingesetzte Sonderprüfverfahren geben.

<sup>3</sup> RICHTER, Bernhard: O-Ring wird zum Normteil in: BERGER, K.F. und KIEFER, S. (Hrsg.): Dichtungstechnik Jahrbuch 2016, ISGATEC, Mannheim, 2015, S.194-203

<sup>4</sup> BLOBNER, Ulrich und RICHTER, Bernhard: Unverzichtbare Gummiprüfungen gestern und heute – Ein Rückblick auf über 100 Jahre Prüfgeschichte aus Sicht der neuen O-Ring Norm ISO 3601-5, Vortrag auf der 19. Internationalen Dichtungstagung (19th ISC) am 12.10.2016 in Stuttgart, Artikel online verfügbar: [https://www.o-ring-prueflabor.de/files/unverzichtb\\_gummipruef\\_gestern\\_heute\\_iso3601\\_5.pdf](https://www.o-ring-prueflabor.de/files/unverzichtb_gummipruef_gestern_heute_iso3601_5.pdf)

Besondere Anforderung an den Werkstoff	Mögliche Prüfmethoden	Ergebnis dieser Methode	Vorteile dieser Methode
Kälteflexibilität	DSC	Glasübergangstemperatur in °C	Kurze Prüfzeit, auch an kleinsten Probekörpern möglich, international weit verbreitete Methode, relativ kostengünstig, korreliert insbesondere bei EPDM und HNBR-Werkstoffen, welche kristalline Sequenzen bilden können, aber nicht immer mit deren realistischen Anwendungsgrenzen
Kälteflexibilität	TR10 -Test	Temperatur, bei welcher ein gedehnter, eingefrorener Probekörper sich um 10% rückverformt hat	Hilfreiche Aussage für praktische Anwendungen, da diese Prüfmethode auch Aussagen über kristalline Effekte gibt, was die DSC-Methode so nicht bietet
Ozonbeständigkeit	Ozonprüfung	Prüfung auf Rissbeständigkeit	Wird insbesondere als Qualifikationsprüfung für Fertigteile mit geforderter Ozonbeständigkeit empfohlen
Elektrische Leitfähigkeit	Durchgangswiderstand	Grad der Leitfähigkeit bzw. der Isolation	Nachweis der Eignung einer Rezeptur, die entweder besonders leitfähig oder besonders isolierend sein muß.
Geringer Weichmacheranteil, Art der Füllstoffe	TGA	Gewichtsprozent der flüchtigen Anteile im Werkstoff, Hinweis auf Art der Füllstoffe	Prüfung an sehr kleine Proben möglich, eindeutige Aussage, relativ kostengünstig
Prüfung auf Polymererschnitte	IR-Spektroskopie	Enthaltene Polymere, bei Extraktion Hinweis auf weitere Inhaltsstoffe	Schnell durchführbar, eher preiswertes Verfahren
Dynamisches Verhalten	DMA	Kälterichtwert oder Multifrequenz-Analyse	Hinweise auf das dynamische Rückstellverhalten und auf die Kälteflexibilität. Grundlage für FE-Analysen zur Simulation der Reaktion der Dichtung auf dynamische Spalt- und Druckänderungen bei tiefen Temperaturen

Weiterführende Informationen zur Sonderprüfmethoden finden Sie unter folgendem Link auf unserer Webseite:

[https://www.o-ring-prueflabor.de/files/\\_bersicht\\_pr\\_fmethoden\\_sondereigenschaftten\\_02\\_2015.pdf](https://www.o-ring-prueflabor.de/files/_bersicht_pr_fmethoden_sondereigenschaftten_02_2015.pdf)

## 6. Sonstiges

Dieser Artikel erscheint in einer Kurzfassung in der Zeitschrift DICHT!, Ausgabe 04/2021 und ist die vorerst letzte Folge der Serie zur Schadensanalyse.

Link zu den Digitalausgaben dieser Zeitschrift:

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