

Kommentar → ...wie helfen mir diese vielen Daten bei meinem Problem weiter? S.3

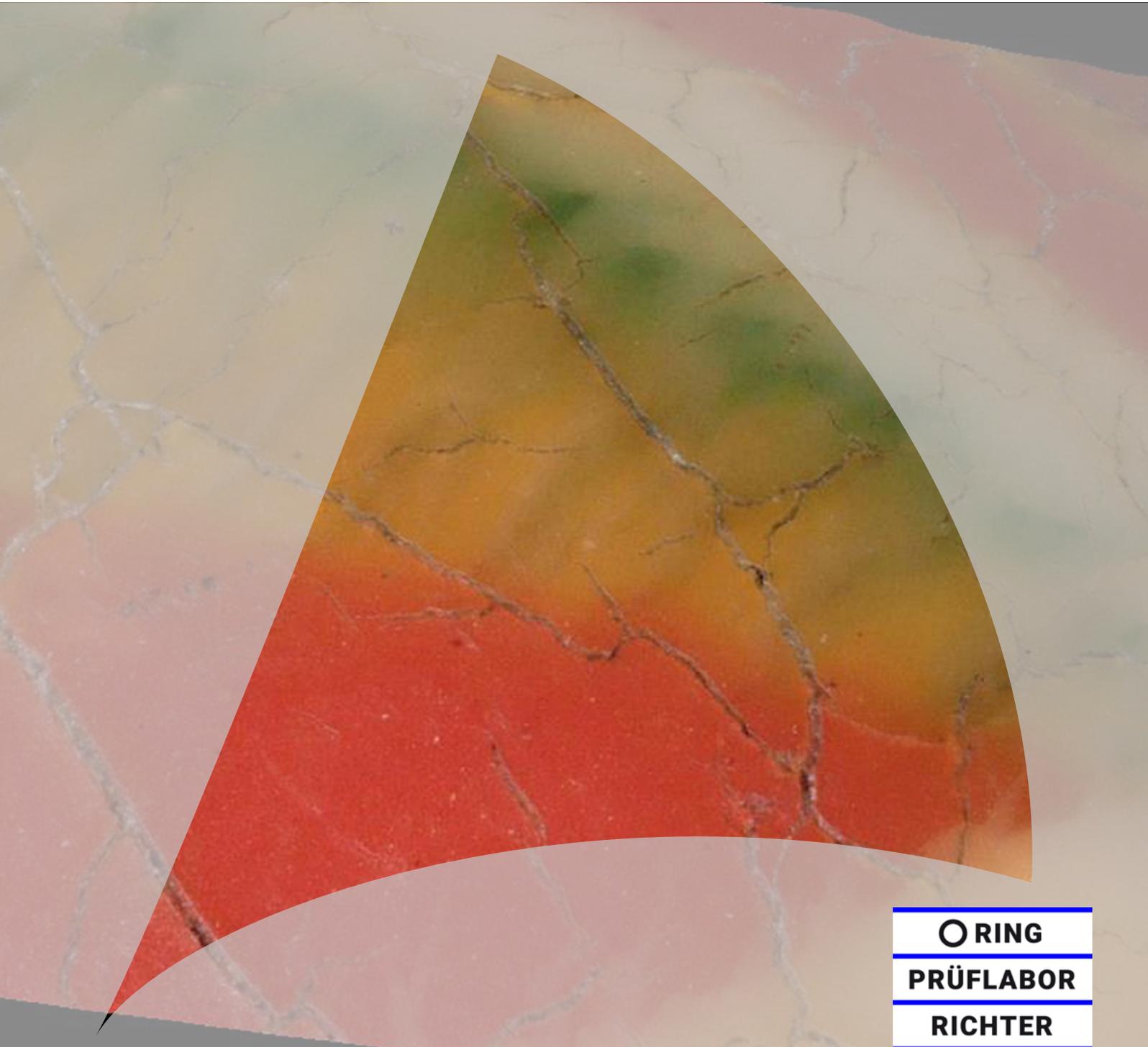
Prüfverfahren → Grenzen und Möglichkeiten von Prüfverfahren S.4

Werkstoffe → Kleine NBR-Werkstoffkunde für Anwender S.22

# DICHT!

[www.isgatec.com](http://www.isgatec.com)

Sonderausgabe O-Ring Prüflabor Richter



**ORING**  
**PRÜFLABOR**  
**RICHTER**

# Breites Lösungsspektrum

## Elastomerprüfung

### Physikalische Prüfungen

- Identitätsprüfung
- Maßprüfung
- Härteprüfung (IRHD-M, ShA)
- Druckverformungsrest bei erhöhten und tiefen Temperaturen
- Druckspannungsrelaxation
- Zugverformungsrest
- Zugversuche
- Weiterreißfestigkeit
- Einlagerungsversuche
- Heißluftalterung
- TR10-Test
- Rückprallelastizität
- Messung der elektrischen Eigenschaften von Elastomeren
- Ozonbeständigkeit
- Thermogravimetrische Analysen (TGA)
- Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC)
- Dynamisch mechanische Analyse (DMA)

### Chemische analytische Prüfungen

- Extraktion
- Infrarot-Spektroskopie
- Pyrolyse GC-MS

Wir prüfen nach den gängigen Normen (DIN, ISO, ASTM) und sind für die meisten Verfahren akkreditiert. Für Prüfverfahren, die hier nicht gelistet sind, fragen Sie uns bitte an.



## Beratung

Wir beraten Sie zu Fragen der Dichtungsanwendung, -auslegung und Auditvorbereitung.

## Sonstige Dienstleistungen

- Sortierung nach vorgegebenen Toleranzen
- Sichtprüfung
- Anerkannte Prüfstelle nach DVGW
- Konformitätsprüfungen nach S3A Sanitary Standards
- Konformitätsprüfungen nach ISO 3601-5
- Konformitätsprüfungen nach Automobil-Spezifikationen
- Kältemittelverträglichkeitstests
- Blow-by-Gas Beständigkeitsprüfungen
- Lebensdauerests nach Arrhenius
- Prüfungen an Schläuchen
- Konformitätsprüfungen nach DIN EN ISO 9539

## Schadensanalyse

Wir führen Schadensanalysen an sämtlichen Elastomerdichtungen und -bauteilen durch.

## Seminare

Wir bieten Seminare zu verschiedenen Themen an, wie Elastomere Werkstoffe, O-Ring Dichtsysteme, Schadensanalyse oder Prüfung von elastomeren Dichtungen.

Diese Seminare oder Themenkomplexe nach Ihren Wünschen können auch als Inhouse-Seminare bei Ihnen (auch in Englisch) abgehalten werden.

 [DICHT!digital: Weitere Informationen zu Leistungen des O-Ring Prüflabor Richter](#)

 [DICHT!digital: Weitere Informationen zur Schadensanalyse](#)

 [DICHT!digital: Weitere Informationen zu Seminaren](#)

 [DICHT!digital: Weitere Informationen zur Beratung](#)

 [DICHT!digital: Weitere Informationen zu sonstigen Dienstleistungen](#)



## „Jetzt habe ich eine so teure Prüfung in Auftrag gegeben, aber wie helfen mir diese vielen Daten bei meinem Problem weiter?“

*Vielleicht ist schon Ihnen oder einem Ihrer Kollegen ein solcher Satz über den Sinn und Zweck von Prüfungen über die Lippen gekommen. Ja, die Prüfung von elastomeren Werkstoffen und Dichtungen ist ein sehr großes Feld, das für einen Neuling schwierig zu betreten ist, aber auf dem sich auch ein erfahrenerer Dichtungsanwender schnell verlieren kann.*

*Der vorliegende Sonderdruck umfasst alle neun Folgen einer von uns verfassten Artikelserie, die in der Zeitschrift „DICHT!“ über einen Zeitraum von fast drei Jahren erschien.*

*Der Bogen der hier vorgestellten Prüfmethoden erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, noch auf ein umfassendes „in-die-Tiefe-gehen“ bei den jeweiligen Prüfverfahren. Vielmehr soll dieser Umdruck dem Praktiker einen schnellen und gut verständlichen Einblick in wichtige Prüfmethoden geben und Interesse an mehr wecken. In der Digitalversion dieser Zusammenstellung wird er auch weiterführende Links auf unserer Webseite finden. Bei konkreten Problemen, können Sie dann gezielt fündig werden und sich zu vielen Themen so tiefgehend informieren, wenn es Ihre Fragestellung erfordert.*

*Mit diesen relativ kurzen Artikeln haben wir den Spagat zwischen wissenschaftlich korrekter Wiedergabe und anwenderbezogener Reduktion auf das Wesentliche versucht. Neben einer ständigen Verbesserung der Reproduzierbarkeit unserer Prüfungen und damit der Belastbarkeit der Prüfergebnisse ist es uns mindestens genauso bedeutend unsere Kunden bei der Lösung ihrer Probleme zu unterstützen, d.h. sie zu beraten und unsere Prüfergebnisse transparent und erklärbar zu machen. Dafür spricht auch unsere rege Seminar- und Veröffentlichungstätigkeit.*

*Diese Artikelserie begann mit der wohl am häufigsten diskutierten Werkstoffprüfung bei Gummiwerkstoffen, der Härtemessung, gefolgt von der Druckverformungsrest-/Zugverformungsrestprüfung und dem Zugversuch. Ebenso wurde die Heißluftalterung von Elastomeren vorgestellt und beendet wurde die Serie mit den immer wichtiger werdenden physikalisch und chemisch analytischen Prüfmethoden für Elastomere, wie bspw. die FTIR- oder TG-Analyse.*

*Zu beurteilen, ob es uns mit diesen Artikeln gelungen ist die Thematik kompakt und informativ aufzubereiten, liegt nun an Ihnen. Wir wünschen Ihnen beim Lesen viel Spaß*

*und viele „Aha“-Erlebnisse und würden uns freuen mit Ihnen darüber ins Gespräch zu kommen, um Ihnen als Ihr Elastomerspezialist zur Verfügung zu stehen.*

Ihr

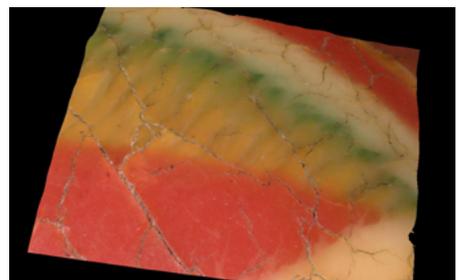
**Bernhard Richter**

 Gründer und Geschäftsführer, O-Ring Prüflabor Richter GmbH, Großbottwar

 Mehr Informationen zu Bernhard Richter

### Hintergrund zum Titelbild:

Damit fing vieles an: Ein Gummiball aus meiner Jugend, Jahrzehnte später nach Freiluftbewitterung wieder gefunden – ein Paradebeispiel für Alterung.



(Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

# Grenzen und Möglichkeiten von Prüfverfahren

## Die Härteprüfung – wichtig, aber oftmals überbewertet

aus DICHT! 4.2014

**MESS- UND PRÜFTECHNIK – Um die Funktion einer Dichtung sicherzustellen, werden diese und die jeweiligen Dichtungswerkstoffe verschiedenen Mess- und Prüfverfahren unterzogen. Doch was leisten die einzelnen Verfahren, wo sind die Grenzen? Diese Serie gibt Konstrukteuren, Einkäufern und Qualitätsmanagern einen Überblick über die üblichen Verfahren und Praxistipps zur Einordnung der Ergebnisse.**

Als Härte wird der Widerstand definiert, den ein Körper einem härteren eindringenden Körper entgegensetzt. Die Kraft des Eindringkörpers (Indentor) wird i.d.R. vorab festgelegt. Bei Metallen wird die Härte nach Entfernen des Eindringkörpers anhand der bleibenden plastischen Verformung beurteilt. Bei Elastomeren, die zum Großteil elastisches Verhalten aufweisen, wird die Eindringtiefe des Indentors während des Prüfvorgangs gemessen [1].

### Prüfmethoden

Am verbreitetsten bei der Prüfung von ausvulkanisierten Elastormischungen und -artikeln ist die Messung der Shore A Härte. Entwickelt wurde dieses Prüfverfahren 1915 von dem US-Amerikaner Albert L. Shore. Diese Prüfung wird mit einem Kegelstumpf als Eindringkörper durchgeführt und ist eigentlich nur für Untersuchungen an Prüfplatten erlaubt. Werden bestimmte Voraussetzungen erfüllt – auf die nachfolgend eingegangen wird – können ShA-Härteprüfungen auch an

Fertigteilen durchgeführt werden. Die Prüfkraft wird von einer Feder erzeugt und ist abhängig von der Eindringtiefe des Kegelstumpfes. Die Shore-Härte ergibt sich aus dem Eindringwiderstand. Aufgrund dieser technischen Voraussetzung war es möglich, handliche Taschenmessgeräte zu bauen, die u.a. ein Grund für die große Akzeptanz dieser Prüfmethode in der Praxis sind.

Geeigneter für Fertigprodukte ist meist eine Messung der Mikrohärtigkeit in IRHD, M »1, weil dabei ein deutlich kleinerer Eindringkörper (Kugel) verwendet wird. Der Indentor wird mit einer konstanten Kraft (auf die Kugel wirkende Gesamtkraft =  $153,3 \pm 1$  mN) belastet. Die Beziehung zwischen Eindringtiefe und Härtegrad ist nicht linear.

»2 stellt die beiden Prüfverfahren Shore A und IRHD, Mikro einander gegenüber. Prüfergebnisse aus den beiden genannten Prüfmethoden sollten nicht miteinander verglichen werden und können auch nicht – z.B. durch eine Formel – ineinander umgerechnet werden. Deswegen wird in der Praxis der gewünschte Härtegrad mit  $\pm 5$  Härtepunkten sehr großzügig gewählt, sodass man trotzdem sowohl mit der Shore-A Härte an der Prüfplatte als auch mit der Mikro-IRHD-Messung (IRHD, M) an Fertigteilen in diesem breiten Härtefenster ( $\pm 5$ ) liegt. Aufgrund dieser großen Toleranz ist das Härteprüfverfahren nur im begrenzten Maße geeignet, eine Rezepturkonstanz bzw. die Qualität eines O-Rings oder einer Dichtung zu beschreiben.

### Praxisrelevanz

Für viele Anwender ist die Härte überhaupt die einzige Werkstoff-Prüfung, die durchgeführt wird. Entsprechend hoch werden dann Härteabweichungen vom Sollwert bewertet. Deshalb soll hier die Frage gestellt werden, warum und wozu die Härteprüfung wichtig ist und in welchen Bereichen sie nicht weiterhilft:

»1 Härteprüfung (Methode IRHD, CM) an einem O-Ring (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

- Die Härte gibt einen Anhaltswert für das Verformungsverhalten des Werkstoffes. Ein harter Werkstoff (90 Shore A/IRHD-M) hat einen höheren Widerstand gegen Spaltextrusion bei hohen Drücken ( $> 70$  bar). Darüber hinaus bietet er einen höheren Schutz gegen Montagebeschädigungen. Ein weicher Werkstoff (50 Shore A/IRHD-M oder weniger) verformt sich leichter und kann Oberflächenfehler, z.B. einen Formtrenngrat in einem Kunststoff-Spritzteil, besser abdichten. Daher bestimmt die Wahl der Nennhärte in einem gewissen Rahmen die Funktionsfähigkeit einer Dichtung.
- Oft wird die Härte fälschlicherweise als Maß für die Steifigkeit eines Werkstoffes herangezogen. Zwar sagen sowohl die Härte als auch das Zug-Dehnungsdiagramm etwas über die Steifigkeit eines Elastomers aus, aber es handelt sich dabei um zwei grundsätzlich verschiedene Arten von Verformung. Bei Zugdehnungsmessungen geht es um große Deformationen der ganzen Masse, während bei der Härteprüfung nur kleine Deformationen stattfinden. Auch wenn Härte und Steifigkeit (mittels Zugdehnungsdiagramm dargestellt) eine bessere Korrelation hätten, so würde die allgemein vorgegebene Schwankungsbreite von  $\pm 5$  Härtepunkten bei der Shore A-Messung bereits einer Streubreite von ca. 15% bis 20% in der Steifigkeit entsprechen, bei harten Werkstoffen ( $> 80$  Shore A) sogar noch deutlich mehr. Daraus wird ersichtlich, dass die Festlegung der Härte allein bei der Auslegung von Elastomerbauteilen, bei denen eine definierte Steifigkeit von Bedeutung ist, unzureichend ist [2]. So liefern z.B. die Härtewerte an O-Ringen nur grobe Hinweise auf den Widerstand gegen Spaltextrusion. Weitere wertvolle Hinweise für die Resistenz kann man über Spannungswerte und Festigkeitswerte aus einem Zugversuch ableiten.
- Die Härte kann nur dann als Materialkennwert betrachtet werden, wenn normgerecht geprüft wird, d.h. an Prüfplatten.
- Für Fertigteilverprüfungen können sich geo-

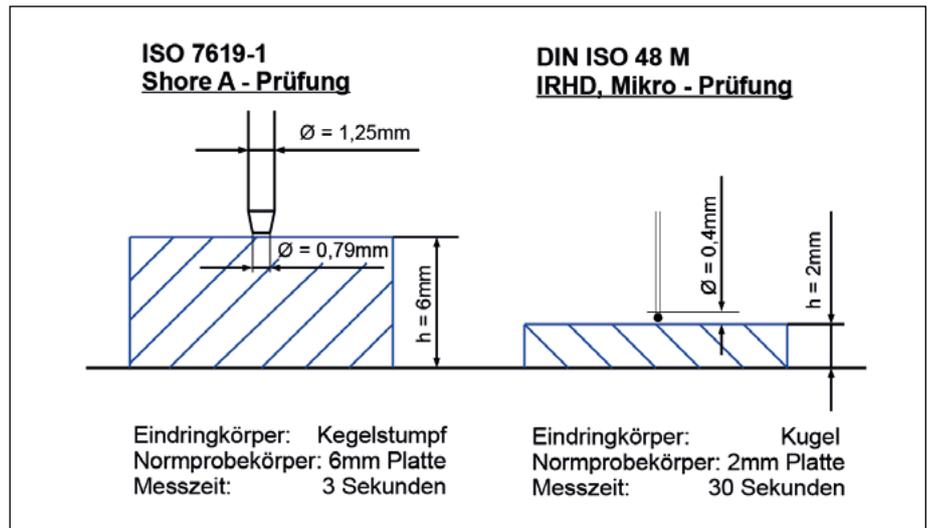


metriebedingte Abweichungen von der Normhärte ergeben. An Formteilen ist zu vereinbaren, an welcher Stelle gemessen wird. In der Fachliteratur gibt es auch Formeln zur Berechnung der „wahren Härte“. Diese sind aber nur bedingt bzw. mit dem entsprechenden vertieften Fachwissen in der Praxis einsetzbar. Hier ist vor allem darauf zu achten, dass der Probekörper planparallele Stellen besitzt, notfalls können Profilschnitte dazu aus Fertigteilen hergestellt werden. Sind die Voraussetzungen an bestimmten Fertigteilen für reproduzierbare Messungen erfüllt, ist das Härteprüfverfahren eine einfache und effektive Methode der Werkstoffüberprüfung.

- Als Fertigteilprüfung bietet die Härte eine einfache Möglichkeit der Rezepturidentifikation, wenn diese zusammen mit anderen Prüfungen (z.B. Dichte) bewertet wird.
- Härtemessungen zeigen eine mögliche Untervulkanisation nur sehr grob an, d.h. die Härte ist kein effektives Instrument zur Absicherung eines ausreichenden Vulkanisationsgrades. Dies wird irrtümlicherweise häufig angenommen.
- Die Härteprüfung ist bezüglich der Messmittelfähigkeit deutlich schlechter als andere Messverfahren, daher ist eine Abweichung vom Sollwert nicht zwangsläufig eine wesentliche Qualitätsminderung. Dies kann nur im Zusammenhang mit anderen Prüfungen sicher beurteilt werden (z.B. durch den Druckverformungsrest oder den Zugverformungsrest). Genaue Angaben finden sich hierzu in den Anhängen der jeweiligen Normen.

### Fazit

Die Härte ist ein wertvolles Prüfmerkmal, sollte aber bei der Qualitätsprüfung immer zu-



»2 Verhältnismäßige Gegenüberstellung der Prüfmethode Shore A und Mikro-IRHD (IRHD, M). Dadurch wird ersichtlich, wie empfindlich die Prüfvorrichtung für die Mikro-IRHD-Prüfung ist. Besonderes Augenmerk muss z.B. darauf gerichtet werden, dass die Prüfkugel nicht abbricht, da dies nur zu leicht veränderten Prüfergebnissen führt und manchmal zu spät erkannt wird (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

sammen mit anderen Prüfungen eingesetzt werden, z.B. in Kombination mit der Dichte und/oder mit dem Druckverformungsrest. In der Praxis wird der Härtewert in seiner Bedeutung oft wesentlich überbewertet.

### Literatur

- [1] Röthemeyer, F. und Sommer, F., *Kautschuktechnologie*, Hanser-Verlag, München, Wien, 2001, S. 490  
 [2] Smith, L.P.: *The Language of Rubber*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1993, S.12 f.

### Verwendete Prüfnormen

- ISO 48 (Ausgabe 9-2010),  
 DIN ISO 48 (Ausgabe 09-2016),  
 ISO 7619-1 (Ausgabe 10-2010),  
 DIN ISO 7619-1 (Ausgabe 2-2012),  
 DIN EN ISO 868 (Ausgabe 10-2003),  
 ASTM D1415 (Ausgabe 2006, reapproved 2012),  
 ASTM D 2240 (Ausgabe 2015)

DICHT!digital: Weiterführende Fachartikel zum Thema Härte:

- [Fachwissen Prüfverfahren - Härte](#)
- [Identitätsprüfungen Härte und Dichte](#)
- [100 Jahre Shore A](#)

## Die Druckverformungsrestprüfung – einfach und aussagekräftig

aus DICHT! 1.2015 und 3.2015

Elastomere sind keine idealelastischen Werkstoffe. Verformt man z.B. eine Dichtung über einen längeren Zeitraum, so wird diese nach Wegnahme der Verformung nicht wieder ganz in ihre ursprüngliche Form zurückkehren. Findet diese Verformung unter Hitze statt, ist dieser Effekt besonders deutlich, auch wenn die jeweilige polymertypische Temperaturobergrenze nicht überschritten wurde. Bei der genormten Druckverformungsrest

(DVR)-Prüfung wird ein in seinen Abmessungen genau definierter Elastomerprobekörper auf einen bestimmten, vorab festgelegten Prozentwert in einer Vorrichtung verpresst (meist 25%) und im verspannten Zustand über einen bestimmten Zeitraum (oft 24 h) in einem Laborofen gelagert. Nach Entspannung (Aufhebung der Verpressung) wird die Resthöhe gemessen und der Druckverformungsrest in Prozent berechnet. Dieser Beitrag behan-

delt die DVR-Prüfung nur bei erhöhter Temperatur sowie die Diskussion und Bewertung der Ergebnisse und ihre Bedeutung für die praktische Anwendung. Zugrunde gelegte Prüfnormen sind dabei die ISO 815-1 (Ausgabe 09-2014) und ASTM D395 (Ausgabe 2016). Die Druckverformungsrestprüfung ist eine relativ einfache, aber auch aussagekräftige Prüfmethode, die zu ganz unterschiedlichen Zwecken durchgeführt wird.

Polymerbasis		NBR				HNBR		FKM				VMQ	EPDM				ACM	Prüfmethode
Vernetzungssystem		schwefelvernetzt		peroxidvernetzt									schwefelvernetzt		peroxidvernetzt			
Härte IRHD	° CM	70	90	75	90	75	90	70	75	80	90	70	70	80	70	80	70	ISO 48 CM
Max. DVR 24(+0/-2)h	%	35	35	30	30	40	50	25	25	25	30	35	30	35	30	30	40	ISO 815-1, Methode A
Testtemperatur	°C	100	100	100	100	150	150	200	200	200	200	175	100	100	150	150	150	

»3 Auszug aus der ISO 3601-5 aus dem Jahr 2014 [4] (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

### Vergleichende Bewertung der Rezeptur

Sie soll eine vergleichende Rezepturbewertung zulassen, d.h. der DVR bildet als Werkstoffkennwert das Leistungspotenzial der Rezeptur in Datenblättern ab. Hierzu werden oft – in Anlehnung an die ASTM D395B – die Prüfzeiten 22+2 h oder 70+2 h verwendet. Die Prüfung hierzu findet an Normprobekörpern statt (üblich ist der Probekörper B der ISO 815 mit einer Abmessung von ca. Ø 13 x 6 mm). In manchen Fällen kann der ermittelte Druckverformungsrest auch indirekt eine Antwort über das Vernetzungssystem geben.

### Fertigteilprüfung

Die größte praktische Bedeutung der Druckverformungsrestprüfung liegt in der Fertigteilprüfung, ganz besonders bei O-Ringen. Dabei geht es nicht darum, den rezepturspezifischen Kennwert zu ermitteln, wie er in Werkstoffdatenblättern zu finden ist, sondern eine Aussage über den Vulkanisationsgrad des Fertigteiltes geben zu können. Der DVR gibt keine Aussage über die dynamischen viskoelastischen Eigenschaften des Werkstoffs, sondern in erster Linie über den Vernetzungszustand. Liegt der DVR-Wert nicht mehr als 10 bis 30% über dem rezepturspezifischen Kennwert für 24<sup>2</sup> h (Prüftemperatur = zulässige 1.000 h-Dauer-temperatur), kann man noch von einem akzeptablen Vulkanisationsgrad ausgehen. Orientierungswerte für eine Fertigteilspezifikation (allgemeiner Industriestandard bzw. guter Stand der Technik) finden sich in »3.

### Überprüfung der anwendungstechnischen Eignung

Die DVR-Prüfung soll den Nachweis einer anwendungstechnischen Eignung erbringen. Ist das Lebensdauer-Temperaturkollektiv der Anwendung bekannt, lässt sich daraus über vereinfachte Arrheniusmultiplikatoren (Faustregel: 10K Temperaturerhöhung = Verdoppelung der Reaktionsgeschwindigkeit der Alterung) eine isotherme Ersatzbeanspruchung (= zeitlich geraffte thermische Er-

satzbeanspruchung bei einer konstanten Temperatur) ermitteln. Wird das Fertigteil dann über diese isotherme Ersatzbeanspruchung (Zeit/Temperatur) geprüft, lässt sich damit die Anwendung über einen Laborversuch ziemlich realitätsnah abbilden.

### Ermittlung von Aussagen über das Langzeitverhalten

Auf den ersten Blick mag es so scheinen, dass Prüfzeiten bei den DVR-Messungen zwischen 6 bis 18 Wochen keine Aussage über das Langzeitverhalten von Dichtungen über die gesamte Lebensdauer eines Produktes geben können, das über Jahre und teilweise sogar über Jahrzehnte seine Dichtwirkung erfüllen muss. Wenn jedoch bei mindestens zwei, idealerweise bei drei unterschiedlichen Temperaturen das Langzeit-Druckverformungsrestverhalten des Fertigteiltes bekannt ist und wenn die höchste Prüftemperatur noch eine uneingeschränkte, d.h. nicht durch geometrische Effekte – z.B. durch große Schnurstärke eines O-Ringes, nähere Erläuterung im folgenden Kapitel – verzögerte Alterung zulässt, lassen sich daraus Lebensdauergeraden ermitteln [1]. Dieser Beitrag befasst sich nur mit dem Druckverformungsrest in Heißluft. In einigen Fällen kann man jedoch eine vertiefte Vorhersage für die Praxisanwendung erhalten, wenn zusätzlich ein DVR in einem flüssigen Prüfmedium (z.B. Motor-, Getriebeöl o.ä.) ermittelt wird [2]. Das ist ein Trend in neueren Spezifikationen, gerade auch bei Fahrzeugherstellern.

### Wichtige, momentan gültige internationale Prüfnormen zum Druckverformungsrest

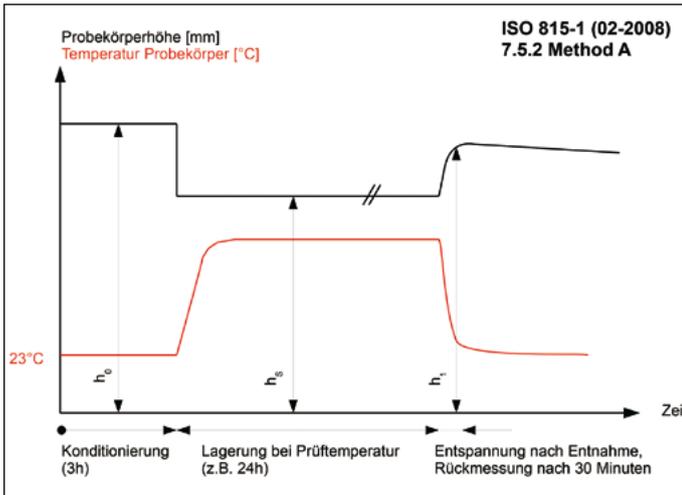
Zur Bestimmung des Druckverformungsrestes gibt es verschiedene internationale Prüfnormen. Die beiden am häufigsten angewendeten sind die ISO 815 und die ASTM D395. Wie bei anderen Werkstoffnormen auch ist das primäre Ziel die Ermittlung eines bestimmten Werkstoffkennwertes zur Beschreibung der Eigenschaft einer vorgegebenen

Rezeptur. Hierzu werden dann auch bestimmte Normprobekörper vorgeschrieben. Die große praktische Bedeutung der Normen kommt aber daher, dass man damit auch den Vernetzungsgrad von Fertigteilen überprüfen und den Vulkanisationsprozess der Fertigteile beurteilen kann. Beide genannten Normen beschreiben jedoch „nur“ die DVR-Prüfung an genormten Probekörpern, nicht aber an realen Dichtungen wie z.B. O-Ringen. Letztere können auch einer DVR-Prüfung unterzogen werden, aber die Ergebnisse sind nur für Kurzzeitprüfungen (24 h) mit den an Normprobekörpern ermittelten Werten vergleichbar, wenn die Prüftemperatur die zulässige maximale 1.000 h-Dauer-temperatur-Belastungsgrenze des Werkstoffes nicht überschreitet. Durch zahlreiche eigene Laborergebnisse kann diese Aussage bestätigt werden. So wird z.B. bei länger andauernden Druckverformungsrestprüfungen an O-Ringen (ab 70 h) ein Einfluss der Dichtungsgeometrie erkennbar.

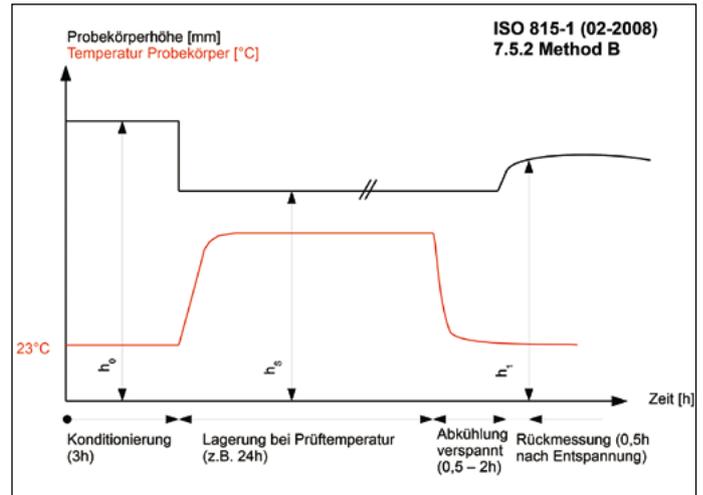
Die ISO 815-1 in der aktuell gültigen Fassung vom September 2014 befasst sich mit der Druckverformungsrestprüfung bei erhöhten Temperaturen, während der Teil 2 dieser Norm die DVR-Messung bei tiefen Temperaturen beschreibt. Die empfohlene Verpressung der Probekörper hängt von deren Härte ab. Für Elastomerproben im Härtebereich von 10 bis 80 IRHD wird eine Verpressung von 25 ± 2% vorgeschrieben, für 80 bis 89 IRHD 15 ± 2% und für 90-95 IRHD 10 ± 1%. Es gibt zwei verschiedene Arten von Probekörpern:

- Typ A (Ø = 29 mm ± 0,5 mm x h = 12,5 mm ± 0,5 mm)
- Typ B (Ø = 13 mm ± 0,5 mm x h = 6,3 mm ± 0,3 mm)

Stehen keine Prüfplatten mit den geforderten Höhen zur Verfügung, ist eine Schichtung von maximal drei Lagen erlaubt. Die Verwendung des größeren Prüfkörpers wird bei Elastomeren mit einem niedrigen Druckverformungsrest empfohlen, da durch die größeren Abmessungen auch eine bessere Genauigkeit erzielt werden kann [3]. Damit ist aber das Verhältnis von freier Oberfläche zur Masse in keinsten Weise mehr mit typischen Fertigteilen wie O-Ringen vergleichbar. Bei den großen Probekörpern kommt verhältnismäßig wenig Masse mit der Umgebungsluft in Berührung, was bei hohen Temperaturen nur eine begrenzte Alterung zulässt. Hier besteht dann die Gefahr, dass die dabei gewonnenen Ergebnisse die Alterungs- bzw. Relaxationsbeständigkeit von Elastomerwerkstoffen deutlich besser darstellen als sie in Wirklichkeit – an realen Dichtungen – sind.



»4 ISO 815-1, Methode A: Rückmessung 30 min nach Entspannung  
(Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)



»5 ISO 815-1, Methode B: Abkühlung auf Raumtemperatur im verspannten Zustand, Rückmessung 30 min nach Entspannung, die Methode mit den höchsten Anforderungen an den Werkstoff  
(Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

Die Verpressung der Probekörper findet bei Raumtemperatur (23 °C) statt. Die Norm macht auch genaue Angaben zu Prüfdauer, Prüftemperaturen, Vorbehandlung der Proben und Anforderungen an den Laborofen. Besonderes Augenmerk muss auf das Prüfende gelegt werden. Es wird zwischen drei Methoden unterschieden:

- Methode A fordert, dass unmittelbar nach Entnahme (d.h. praktisch noch bei Prüftemperatur) die Prüfvorrichtung geöffnet werden soll. Die Probekörper werden dann auf eine Holzunterlage gelegt.
- Die Methode B fordert eine Abkühlung auf Raumtemperatur im verspannten Zustand zwischen 30 und 120 min. Dann wird die Form geöffnet und nach weiteren 30 ± 3 min. die Höhe gemessen.
- Die Methode C fordert, dass am Ende der Prüfzeit die Prüfvorrichtung im Ofen geöffnet wird und die Probekörper noch einmal 30 ± 3 min. im Ofen bei Prüftemperatur zur Entspannung verbleiben sollen. Dann werden die Probekörper entnommen und nach weiteren 30 ± 3 min. Abkühlung bei Raumtemperatur wird die Höhe gemessen.

Die besten (d.h. die niedrigsten) DVR-Werte erhält man mit Methode C. Die hohe Temperatur bei der Entspannung bedingt eine höhere Beweglichkeit des molekularen Netzwerkes und damit eine leichtere Rückstellung in Richtung der ursprünglichen Form. Die schlechtesten, also höchsten DVR-Werte erhält man mit Methode B, da die Probekörper verspannt bis zur Raumtemperatur abgekühlt werden und erst dann entspannt werden.

Die Methode B mit teilweise kleineren Modifikationen wird bevorzugt in der Automobilindustrie angewandt. Die Methode B sorgt

aber auch mitunter für einige Diskussionen aufgrund stark voneinander abweichender Werte. Dies hat besonders mit der Art der Abkühlung zu tun. Hier erhält man nur dann eine gute Wiederholbarkeit, wenn man die Abkühlung durch einen Ventilator unterstützt und die Abkühlzeit so bemisst, dass – unabhängig von der Prüftemperatur und der Masse der Druckverformungsrest-Platten – immer vor der Entspannung der Proben die Labortemperatur von 23 °C ± 2 °C erreicht wird. Hier gibt es vor allem dann viele Diskussionen mit Kunden unseres Prüflabors, wenn dadurch die Sollwerte nicht mehr erreicht werden. Aber schon eine um 5 °C erhöhte Entspanntemperatur der Prüflinge gegenüber der Labortemperatur kann das Ergebnis um über 10% verbessern. »4 und 5 veranschaulichen die unterschiedlichen Abkühl- und Entspannungsverfahren der ISO 815-1 (Verfahren A und B). Nach der ISO 815-1 wird der DVR wie folgt berechnet:

$$DVR = \frac{h_0 - h_1}{h_0 - h_s} \times 100$$

- h0 = ursprüngliche Höhe des Probekörpers [mm]
- h1 = Höhe des Probekörpers nach Entspannung [mm]
- hs = Höhe des Abstandshalters zwischen den Prüfplatten = verpresste Höhe [mm]
- DVR = Druckverformungsrest [%]

Aus der Formel wird ersichtlich, dass ein ideal-elastischer Werkstoff einen Druckverformungsrest von 0% hätte, d.h. der Werkstoff federt wieder vollkommen in seine Ausgangshöhe zurück. Ein rein plastischer Werkstoff hätte einen DVR von 100% (bei Prüftem-

peratur). In der praktischen Anwendung wäre dies der „worst case“, d.h. die Dichtung „bleibt sitzen“ und hat folglich keine Restdichtkraft mehr. In manchen Fällen kann sich daraus sogar ein Wert von über 100% ergeben, weil sich die Probe nach der Entspannung noch abkühlt und damit schwindet, bevor der Referenzwert h1 ermittelt wird (Methode A). Bei Langzeit-DVR kann das Schrumpfen auch durch Weichmacherverluste bedingt sein.

Die ASTM D395 (Ausgabe 2016) befasst sich mit der Ermittlung des Druckverformungsrestes nur bei erhöhten Temperaturen. Der Teil A behandelt die Ermittlung des DVR unter konstanter Kraft. Da diese Methode in Europa wenig verbreitet ist, wird hier nicht näher darauf eingegangen.

Im Teil B der ASTM D395 geht es um die Verformungsprüfung unter konstanter Verpressung. Der geforderte Probekörper 1A ist in seinen Abmessungen identisch mit dem Probekörper Typ A der ISO 815-1, kleine Unterschiede gibt es nur bei der Höhe des Probekörpers 2B. Diese Unterschiede werden aber als unerheblich auf das Ergebnis eingestuft. Wichtiger für ein belastbares Ergebnis ist es, dass die Verpressung vergleichbar ist, z.B. 25%. Auf den ersten Blick scheint es noch einen Unterschied bei den Prüfzeiten zu geben. Während die ASTM u.a. eine Prüfzeit von 22 h fordert, sind es in der ISO-Norm 24 h. Da in der täglichen Laborpraxis die Einlagerungszeiten nicht auf die Minute eingehalten werden können, ist eine Toleranz notwendig. Diese beträgt bei der ASTM +2 h und bei der ISO-Vorschrift -2 h, sodass auch hier wieder eine Vergleichbarkeit zwischen beiden Normen vorhanden ist. Die ASTM bietet nur eine Entspannungs- und Abkühlungsprozedur,



»6 Rechts ist der gestanzte Probekörper erkennbar, links der geschnittene. Im vorliegenden Fall weicht der kleinste Durchmesser des gestanzten Probekörpers (11,3 mm) bis zu 13% vom Sollwert (13 mm) ab

(Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

die der Methode A der ISO 815-1 entspricht. Abschließend kann festgestellt werden, dass sich die mithilfe dieser beiden Normen ermittelten Ergebnisse durchaus vergleichen lassen, wenn die Prüfparameter (Zeit, Temperatur, Verpressung und Entspannungsmethode) gleich gewählt wurden.

### Prüfvorrichtungen zur Bestimmung des DVR

Beide oben zitierten Prüfnormen geben auch genaue Anweisungen über die Beschaffenheit der Prüfvorrichtung. Gefordert sind starke und biegesteife Metallplatten, die über Distanzstücke („spacer“) auf die gewünschte Höhe verschraubt werden. Besonders bei der DVR-Prüfung von Silikon (VMQ) im Temperaturbereich von 150 °C oder höher und von Fluorkautschuken (> 200 °C) kann es – wenn die Probekörper schlecht getempert sind – zum Anhaften der Probekörper an das Prüfwerkzeug kommen. Beim Öffnen desselben, werden die Proben etwas in die Höhe gezogen und die Ergebnisse dadurch positiv verfälscht. Um dieses Ankleben der Proben an die Form zu vermeiden, wird die Verwendung von Gleitmitteln in den Normen vorgeschrieben. Ein weiterer Effekt der Gleitmittel besteht darin, Querverformung des Probekörpers zu ermöglichen. Ist diese Querverformung behindert, ändert sich der Spannungszustand im Probekörper, was auch indirekt die Ergebnisse beeinflussen kann.

Besonderes Augenmerk sollte auch auf die Herstellung der Probekörper gelegt werden. In der Regel werden die Probekörper nach ISO 815-1 Typ B ( $\varnothing = 13$  mm) aus 6 mm starken Prüfplatten gestanzt. Je nach Härte und Materialtyp bekommt man meist keine rechtwinklige Schnittkante zur Auflagefläche. Deswegen ist man dazu übergegangen, die Probekörper mit einem Drehmesser zu schneiden »6.

Prüfbedingungen	NBR 70 IRHD,M [100 °C] schwefelvernetzt	NBR 90 IRHD,M [100 °C] schwefelvernetzt	NBR 75 IRHD,M [100 °C] peroxidischvernetzt	NBR 90 IRHD,M [100 °C] peroxidischvernetzt	HNBR 75 IRHD,M [125 °C]	HNBR 90 IRHD,M [125 °C]	Prüfmethode
max. DVR, 72(+0/-2) h	40	40	40	40	40	45	ISO 815-1:2008, 7.5.2, Method A
max. DVR, 336(+0/-2)h	60	70	50	60	60	70	ISO 815-1:2008, 7.5.2, Method A

Prüfbedingungen	FKM 70, 75, 80 IRHD,M [175 °C]	FKM 90 IRHD,M [175 °C]	VMQ 70 IRHD,M [175 °C]	EPDM 70 IRHD,M [100 °C] schwefelvernetzt	EPDM 80 IRHD,M [100 °C] schwefelvernetzt	EPDM 70, 80 IRHD,M [125 °C] peroxidischvernetzt	ACM 70 IRHD,M [150 °C]	Prüfmethode
max. DVR, 72(+0/-2) h	25	30	35	30	35	25	40	ISO 815-1: 2008, 7.5.2, Method A
max. DVR, 336 (+0/-2)h	40	45	55	60	60	40	50	ISO 815-1: 2008, 7.5.2, Method A

»7 Die DVR-Werte sind Vorgaben für Rezepturen, die an Probekörpern des Typs B ( $\varnothing$  13 mm x 6 mm) ermittelt werden. Diese Probekörper werden aus Prüfplatten geschnitten oder gestanzt [4]

(Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

### Leistungsspektrum wichtiger Elastomere nach der ISO 3601-5

Die ISO 3601 Teil 5 wurde unter deutscher Projektleitung erarbeitet. Sie ersetzt die ISO 3601-5 aus dem Jahr 2002. Die ISO 3601 besteht aus fünf Teilen und befasst sich mit O-Ringen zur Abdichtung von Fluiden im Maschinenbau. Es werden darin u.a. Durchmesser, Toleranzen, Einbausituationen, Qualitätskriterien, Stützringe und schließlich Werkstoffspezifikationen für O-Ringe in allgemeinen industriellen Anwendungen und für die dafür verwendeten Mischungen festgelegt. Um letztere Mischungsspezifikationen wird es im Folgenden gehen: Die Anforderungen an das Fertigprodukt O-Ring wurden bereits zitiert. In den in der ISO für die Werkstoffe aufgestellten Forderungen werden auch der Einfluss der Härte und des Vernetzungssystems auf den DVR berücksichtigt. Werden diese Sollwerte eingehalten, kann der Praktiker sicher sein, einen Werkstoff nach einem guten Stand der Technik zu erhalten. »7 [4] gibt einen Auszug wieder.

Am Beispiel des schwefelvernetzten NBR werden bei den Langzeit-DVRs (336 h) die Unterschiede aufgrund unterschiedlicher Härte sichtbar. Ein Werkstoff mit einer hohen Härte ergibt meist einen erhöhten, also schlechteren DVR-Wert, da harte Elastomermischungen einen größeren Füllstoffanteil haben. Dadurch nimmt die Polymermatrix,

die durch ihre Vernetzungen für die Rückfederung verantwortlich ist, einen geringeren Anteil im Compound ein.

Beim EPDM erkennt man klar die Unterschiede, welche durch ein verschiedenartiges Vernetzungssystem generiert werden. Obwohl der peroxidisch vernetzte EPDM bei höheren Temperaturen als der schwefelvernetzte geprüft wird, kann er bessere DVR-Werte erreichen.

So wichtig auch einzelne Werkstoffkennwerte wie der Druckverformungsrest sein können, so sollte man doch bei der Bewertung dieser Eigenschaft immer im Auge behalten, welche zusätzlichen Eigenschaften der Rezeptur bzw. des Fertigteil für die Anwendung eine wichtige Rolle spielen. Wenn in bestimmten Anwendungsfällen tatsächlich der Druckverformungsrest das wesentliche Kriterium für eine sichere Dichtfunktion ist – was bei vielen O-Ringen der Fall ist – sollte man auch verstehen, von welchen Einflüssen ein guter, d.h. ein niedriger DVR-Wert abhängt.

### Einflüsse des DVR bzw. des Vernetzungsgrades auf die Werkstoffeigenschaften

Wie bereits oben angesprochen, ist der Druckverformungsrest ein indirektes Maß für die Vernetzungsdichte eines Werkstoffs. Die Vernetzungsdichte hat gravierenden Einfluss auf verschiedene wichtige Eigenschaften einer Dichtung.

**Einflüsse auf das DVR-Prüfergebnis**

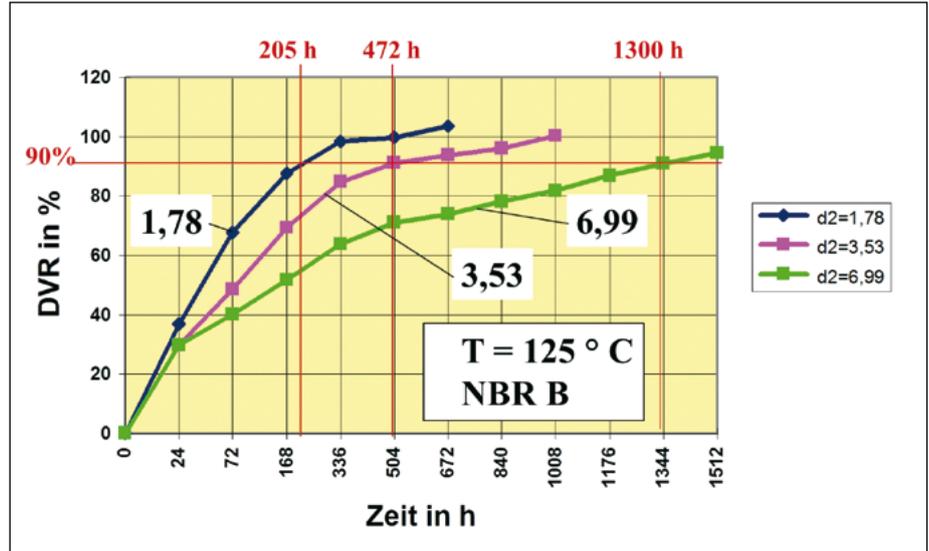
Das Ergebnis des DVR-Wertes kann durch viele Faktoren positiv wie negativ beeinflusst werden. Die Kenntnis der Einflussfaktoren auf die DVR-Ergebnisse ist wichtig, um zu stabilen und reproduzierbaren Messwerten zu kommen. Besonders hilfreich ist dieses Wissen, wenn sich die Messergebnisse an der Grenze einer Spezifikationsforderung befinden.

**Einflüsse der Probenkörpergeometrie**

In »8 wird ersichtlich, dass der O-Ring mit der geringsten Schnurstärke ( $d_2 = 1,78$  mm) die schlechtesten DVR-Werte aufweist. Der kritische DVR-Wert von 90% wird bereits nach 205 h erreicht. Die besten Ergebnisse erhält man bei dem O-Ring mit einer Schnurstärke von 6,99 mm. Der kritische DVR-Wert von 90% stellt sich hier erst nach 1.300 h ein. Dieser O-Ring lässt sich am ehesten mit den Abmessungen des Probekörpers des Typs B ( $\varnothing 13$  mm x 6,3 mm) nach der ISO 815-1 vergleichen. Vor diesem Hintergrund wird ersichtlich, dass sich DVR-Werte, welche an Normprobekörpern ermittelt wurden, nicht mit Werten an O-Ringen vergleichen lassen und i.d.R. besser sind als die an realen Dichtungen gemessenen Werte.

Wie lassen sich nun die oben gefundenen Ergebnisse theoretisch erklären? Die Geschwindigkeit von chemischen Reaktionen nimmt exponentiell mit der Temperatur zu (Arrheniusgleichung), was für die Alterung durch Wärme und Sauerstoff bedeutet, dass ein O-Ring nur dann uneingeschränkt altert, wenn er ausreichend mit Sauerstoff in Kontakt kommt. Ist das Verhältnis von freier Oberfläche zur Masse durch die Geometrie (= Schnurstärke) vorgegeben, dann ist damit die Zufuhr von Sauerstoff geometrieabhängig begrenzt. DVR-Langzeitversuche an NBR-O-Ringen haben gezeigt, dass dieser Geometrieinfluss bei 80 °C noch keine signifikante Bedeutung hat, dass aber bereits bei 100 °C ein erheblicher Einfluss erkennbar ist (ca. vierfacher Sauerstoffbedarf gegenüber 80 °C) und dass der Einfluss bei 125 °C gravierend ist (ca. 25-facher Sauerstoffbedarf gegenüber 80 °C). Allerdings gilt das Gesetz von Arrhenius nur, wenn immer genügend Reaktionspartner zur Verfügung stehen. Da das Arrheniusgesetz zeigt, dass bei 100 °C die Alterungsreaktion viermal schneller als bei 80 °C abläuft, so wird das nur passieren, wenn auch viermal soviel Sauerstoff bei 100 °C wie bei 80 °C zur Verfügung steht.

Bei Temperaturen von ca. 20 °C bis 25 °C unterhalb der zulässigen Dauertemperaturen (1.000 h-Kriterium) von O-Ring-Werkstoffen



»8 Einfluss der Schnurstärke auf den Druckverformungsrest von NBR bei 125 °C (Langzeit-DVR-Messungen) (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

ist der Einfluss der Schnurstärke sehr gering. Bei NBR sind dies Temperaturen bis ca. 80 °C, bei peroxidvernetztem EPDM bis ca. 125 °C, bei FKM bis ca. 175 °C und bei VMQ bis 150 °C.

Was bedeuten nun diese Erkenntnisse für die Praxis? In kritischen Anwendungsfällen ist – sofern dies die Einbausituation ermöglicht – ein O-Ring mit größerer Schnurstärke zu bevorzugen. Darüber hinaus sind an Normprobekörpern gemessene Druckverformungsrestwerte bezüglich der Übertragbarkeit auf O-Ringe kritisch zu hinterfragen, wenn diese DVR-Werte bei höheren Temperaturen als den oben angegebenen ermittelt wurden.

**Einfluss der prozentualen Verpressung**

Wie bereits bei der Vorstellung der Prüfnorm ISO 815-1 angedeutet, ist die Verpressung von 25% ± 2% der am weitesten verbreitete Standard bei der Bestimmung des DVR. Bei härteren Werkstoffen verringert sich die Verpressung entsprechend. Es gibt aber auch Spezifikationen verschiedener Anwender von O-Ringen, die auch höhere Verpressungen fordern, wie z.B. 30%, 40% oder 50% (vgl. VW Spezifikation PV3330).

Generell lässt sich sagen, dass sich die DVR-Ergebnisse mit zunehmender Verpressung (bis ca. 35 bis 40%) verbessern können und dass an O-Ringen bei Verpressungen unter 10% erheblich schlechtere Ergebnisse erzielt werden als bei 25%. Daher sollten die Einbau-räume von O-Ringen auch sicherstellen, dass eine Mindestverformung von 10% eingehalten wird. Bei zu hoher Verpressung besteht bei hohen Temperaturen die Gefahr von inneren Spannungsrissen. Diese Gefahr nimmt mit zunehmender Schnurstärke zu. Daher lie-

gen hier kritische Verformungen bei dicken Schnurstärken deutlich niedriger als bei dünnen Schnurstärken. Für O-Ringe mit maximal 6,99 mm Schnurstärke ist bei üblichen Härten (max. 90 Shore A) bei einer Verpressung von 25% erfahrungsgemäß die Gefahr des Aufplatzens durch innere Spannungsrisse gering, vorausgesetzt, die zulässigen Dauertemperaturen werden nicht überschritten.

**Einfluss der Entspannungstemperatur des Probekörpers**

Wie in »4 und 5 dargestellt, erlaubt die ISO 815-1 drei verschiedene Entspannungs-methoden (Abschnitt 7.5.2 in der Norm: Verfahren A, B, C): Beim Verfahren A wird sofort nach der Entnahme aus dem Ofen entspannt, während beim Verfahren B die Probekörper nach Entnahme aus dem Ofen im verspannten Zustand für 30 bis 120 min. auf Raumtemperatur abgekühlt werden. Letzteres Verfahren ist das für eine Elastomermischung anspruchsvollste und man erhält üblicherweise damit die schlechtesten Werte. Werkstoffe, die eine geringe Elastizität bei Raumtemperatur besitzen (z.B. Fluor- und Acrylatkautschukmischungen) zeigen große Messwertunterschiede zwischen Verfahren A und B. Diese Werkstoffe federn im warmen Zustand im Verhältnis schneller zurück als bei Raumtemperatur [5].

Für die praktische Anwendung bedeutet dies, dass Werkstoffe mit einer geringen Elastizität bei Raumtemperatur bzw. tiefen Temperaturen in dynamischen Systemen mit großen Temperaturschwankungen nur begrenzt eingesetzt werden können. Bei dauerhafter Hochtemperatur ist ein Einsatz unproblematischer.

### Einfluss des Prüfmediums

DVR-Prüfungen in Medien ergeben in vielen Fällen bessere DVR-Werte als in reinem Umgebungsluftkontakt. Dies hat damit zu tun, dass das entsprechende Kontaktmedium die Dichtung vor Sauerstoff und einer schnellen Alterung schützt. In Ausnahmefällen gibt es aber auch Kontaktmedien, die aggressiver als Luft sind, hier zeigt sich dann ein gegenteiliges Bild. Für die praktische Anwendung bedeutet dies in vielen Fällen, dass eine Dichtung, die allseitig von einem Medium umschlossen ist, eine längere Lebensdauer aufweist [6].

### Einfluss von besonderen Dichtungsformen auf die Reproduzierbarkeit der Messung

Um reproduzierbare Prüfergebnisse zu erhalten, sollten bei komplizierteren Dichtungsgeometrien (also keine O-Ringe), wie z.B. Flanschdichtungen, genaue Prüfmethoden festgelegt werden. Es empfiehlt sich hier, in den Prüfbedingungen die Stelle, an welcher der zu prüfende Abschnitt aus der Dichtung herausgeschnitten wird, und die oft schwierige Positionierung des Probekörpers im Prüfplan der Wareneingangsprüfung genau festzuhalten. Entweder muss eine spezielle Vorrichtung zur Aufnahme und zum Halten des zu prüfenden Stückes beschafft werden oder es wird, z.B. bei Flanschdichtungen, ein Kreuzungspunkt von drei oder vier Dichtungsarmen herausgeschnitten, sodass der Probekörper sicher und selbstständig in der DVR-Prüfvorrichtung stehen kann. Selbstverständlich können auch Abschnitte aus Flanschdichtungen liegend geprüft werden, jedoch ergeben sich hier oft Probleme durch Haltenoppen, konkave Form, Bindenähte und die geringe Höhe, was die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit einschränkt. Generell empfiehlt es sich, solche speziellen Prüfpläne in Zusammenarbeit mit dem Hersteller der Dichtung zu erarbeiten. Dies erleichtert die Kommunikation bei auftretenden Problemen.

### Einfluss der Verarbeitung

Die Eigenschaften von Elastomerprodukten werden durch das modulare Netzwerk nachhaltig beeinflusst. Zum einen entsteht eine jeweils charakteristische Netzwerkstruktur und zum anderen ist ebenso die Netzwerkdichte von Bedeutung, d.h. die Anzahl der Vernetzungsbrücken und deren Länge [7].

Dieses modulare Netzwerk ist von zwei Faktoren entscheidend abhängig – zum einen von der Rezepturqualität und zum anderen

von der Verarbeitungsqualität. Diese beiden Eigenschaften kombiniert sind ein Maß für die Lebensdauerqualität einer Dichtung, über welche mithilfe des DVR Aussagen gemacht werden können.

### Lebensdauerqualität (DVR) = Rezepturqualität x Verarbeitungsqualität

Die multiplikative Verknüpfung bedeutet, dass eine hohe Rezepturqualität, also ein guter Compound, wirkungslos bleibt, wenn eine Elastomerdichtung bei der Herstellung nicht unter den richtigen Bedingungen vulkanisiert wird. Im Gegensatz zu optimal vulkanisierten Probekörpern aus Prüfplatten werden Dichtungen oft innerhalb eines Bruchteiles der Zeit vulkanisiert. Daher haben Datenblatt-Angaben lediglich eine Aussagekraft über die Rezepturqualität, nicht aber über die Qualität der Fertigprodukte.

Viele Mischungen werden heute bereits im Werkzeug vollständig ausvulkanisiert. Jedoch bewirkt der hohe allgegenwärtige Kostendruck, dass mitunter die Zykluszeit und folglich die Vulkanisationszeit gekürzt werden – ein Sparen am falschen Ende, mit teilweise fatalen Folgen. Es gibt jedoch auch Mischungen, die eine längere Vulkanisationszeit benötigen, die sich nicht wirtschaftlich während des Spritzgießprozesses realisieren lässt. Diese Dichtungen werden bis zum Erreichen der Formstabilität im Werkzeug belassen und dann anschließend in speziellen Temperöfen nachvernetzt. Hier besteht die Gefahr, dass dieser zusätzliche Arbeitsgang entweder vergessen wird oder nicht korrekt ausgeführt wird, da er sich nicht so einfach wie ein Spritzgießprozess automatisieren lässt. Fehlt dieser Arbeitsschritt, fällt die Dichtung mit hoher Wahrscheinlichkeit in der Praxis aus. Dieser Fehler lässt sich mithilfe der DVR-Prüfung meist problemlos erkennen und nachweisen, jedoch so gut wie nie über eine Härteprüfung, da diese zu ungenau eine Untervulkanisation anzeigt.

### Einfluss üblicher Schwankungen der Prüfergebnisse verschiedener Messungen

In der Praxis befinden sich Schwankungen im Bereich von  $\pm 2\%$  an Normprobekörpern und von  $\pm 3\%$  an Fertigteilen (O-Ringen) noch im Rahmen der Messungenauigkeit. Es ist zwar üblich (aber nicht normgerecht), DVR-Werte mit einer Nachkommastelle anzugeben. Es empfiehlt sich aber, diese Nachkommastelle in ihrer Bedeutung nicht überzubewerten. Wenn z.B. eine Spezifikation einen maxima-

len DVR-Wert von 30% erlaubt und man einen Werkstoff, mit einem DVR-Wert von 29% und einen anderen Werkstoff mit einem DVR-Wert von 25% angeboten bekommt, ist zu empfehlen, letzteren zu wählen, auch wenn beide die Spezifikationsvorgabe auf den ersten Blick erfüllen. So hat man mit dem besseren DVR eine größere Sicherheit, auch in Zukunft innerhalb der Spezifikationsforderung zu liegen.

### Literatur

- [1] Richter, Bernhard: *Lebensdauer von O-Ringen in: O+P „Ölhydraulik und Pneumatik“*, Vereinigte Fachverlage GmbH, Mainz, 42. Jahrgang, Nr. 5/1998
- [2] Richter, Bernhard: *Beständigkeitsprüfungen von elastomeren Werkstoffen und Dichtungen in: Kiefer, Sandra und Berger, Karl-Friedrich (Hrsg.): Dichtungstechnik Jahrbuch 2012*, ISGATEC GmbH, Mannheim, 2011, S.118 ff.
- [3] Brown, Roger: *Physical Testing of Rubber*, Springer-Verlag, New York, 2006, S. 213
- [4] International Organization for Standardization: *Draft International Standard: ISO 3601-5 Fluid power systems – O-rings – Part 5: Specification of elastomeric materials for industrial applications*, 2014, S. 4ff.
- [5] Nagdi, Khairi: *Gummi-Werkstoffe. Ein Ratgeber für Anwender*, Dr. Gupta Verlag, Ratingen, 2002, S. 300
- [6] Richter, Bernhard: *Beständigkeitsprüfungen elastomere Werkstoffe und Dichtungen in: Kiefer, Sandra und Berger, Karl-Friedrich (Hrsg.): Dichtungstechnik Jahrbuch 2012*, ISGATEC GmbH, Mannheim, 2011, S.118 ff
- [7] Rahm, W.: *Kurzzeitprüfverfahren für Gummi in der Qualitätssicherung in: KGK Kautschuk Gummi Kunststoffe*, 48. Jahrgang, Nr. 9/1995, Hüthig-Verlag, Heidelberg, S. 634

# Zugverformungsrestprüfung (ZVR) – Geheimtipp für Fertigteilverprüfung

aus DICHT! 4.2015

Die Zugverformungsrestprüfung (ZVR-Prüfung) ist ebenso wie die Druckverformungsrestprüfung (DVR-Prüfung) eine Möglichkeit, über das Rückverformungsverhalten nach einer definierten Temperaturbeanspruchung Informationen über das Relaxationsverhalten und über den Vernetzungszustand eines Prüflings zu erhalten. In speziellen Anwendungsfällen und bei besonderen Dichtungsgeometrien ist sie eine hilfreiche Ergänzung zur DVR-Prüfung, die in den letzten beiden DICHT!-Ausgaben detailliert vorgestellt wurde.

## Die ZVR-Prüfprozedur und wichtige Prüfnormen

Bei der Zugverformungsrestprüfung wird der Probekörper gedehnt. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um eine konstante Dehnung. Der Probekörper ist entweder ein Streifenprobekörper, ein Streifenprobekörper mit verbreiterten Enden (ähnlich einem Zugprüfstab) oder ein Ring. Es handelt sich entweder um eine reine Dehnung in der Länge (des Elastomerstreifens oder Schulterstabes) oder um eine radiale Dehnung, siehe »9 mit gedehnten O-Ringen. Die Dehnung beträgt meist 25% oder 50% und nach einer definierten

- Temperaturbeanspruchung (z.B. 24 h/150 °C) und
- Abkühlprozedur (Hier gibt es Unterschiede zum DVR beim Abkühlverfahren der Methode B.)

wird der Probekörper wieder entspannt. Die bleibende Dehnung bzw. Aufweitung wird in das Verhältnis zur absoluten Dehnung bzw. Aufweitung gesetzt. Es ist keine Standardlänge für die längsgedehnten Probekörper in der Norm vorgeschrieben. Meist werden jedoch 50 mm [1] als Messlänge verwendet. Der Vorteil von ZVR-Streifenprobekörpern ist, dass keine zusätzlichen Halteklammern benötigt werden, weil der Streifenprobekörper mit verbreiterten Enden problemlos in die Vorrichtung eingehängt werden kann. Die zu messende Länge wird dann über den Abstand der Einspannbleche gemessen. Bei anderen Probekörpern, wie z.B. Schulterstäben, muss dann die Messlänge im Ausgangszustand mit Markierstiften [2] angezeichnet werden.

Da meist relativ kurze Streifenprobekörper



»9 Prüfdorn mit O-Ringen bei der ZVR-Prüfung (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

verwendet werden und weil beim ZVR in vielen Fällen keine übergroßen Dehnungen rückgemessen werden, sind genaue und exakte Messvorrichtungen unbedingt notwendig [1]. Die Längenänderung wird mit einer Genauigkeit von 0,1 mm [3] erfasst. Das Ergebnis des ZVR korreliert in etwa mit dem der Druckverformungsrestprüfung. Der Zugverformungsrest E4 in Prozent wird gemäß DIN ISO 2285 wie folgt berechnet:

$$E4 = 100 \times (L5 - L1) / (L2 - L1)$$

Dabei sind:

E4 = Zugverformungsrest (%)

L1 = ungedehnte Ausgangsmesslänge (mm)

L2 = gedehnte Messlänge (mm)

L5 = Messlänge nach der Erholungsphase (mm)

Die bleibende Verformung nach der ZVR-Prüfung entsteht durch ähnliche Effekte wie beim DVR. Der ZVR wird in der Regel viel seltener gemessen als der DVR.

## Vor- und Nachteile der ZVR-Prüfung im Vergleich zur DVR-Prüfung

Die ZVR-Prüfung wird fast ausschließlich bei Fertigteilen angewendet. Bei O-Ringen mit sehr kleinen Schnurstärken ist hier die Messunsicherheit geringer als bei der DVR-Prüfmethode.

An vielen Manschetten, Stangen- und Kolbendichtungen sowie an Radialwellendichtungen (an der mit einem Messer herausgetrennten Dichtlippe) ist die ZVR-Prüfung

überhaupt die einzige Möglichkeit, den Vernetzungsgrad zu messen.

Die Durchführung ist einfacher als bei der Druckverformungsrestprüfung, ein Dorn ist leichter herzustellen als planparallele Platten und Distanzstücke. Daher bietet sich das Verfahren für immer wiederkehrende Abmessungen an, wenn man bereits den passenden Dorn hat.

Die Genauigkeit von ZVR-Prüfungen ist nicht immer so hoch wie bei DVR-Prüfungen, wenn nicht berührungslos arbeitende Messmaschinen für O-Ringe zur Verfügung stehen.

## Literatur

[1] vgl. Brown, R.: *Physical Testing of Rubber*, New York, 4. Aufl. 2006, S. 215

[2] vgl. DIN ISO 2285 (Ausgabe Dezember 2013), Unterpunkt 6.4.1, S. 10

[3] vgl. DIN ISO 2285 (Ausgabe Dezember 2013), Unterpunkt 4.1.3, S. 7



DICHT!digital:

Langversion des Beitrages

## Zugversuch – Spiegelbild des Elastomernetzwerkes

aus D!CHT! 1.2016 und 2.2016

Beim Zugversuch werden genormte Prüfkörper (in den meisten Fällen „Schulterstäbe“) in eine Zugprüfmaschine eingespannt und mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit bis zum Zerreißen gedehnt. Bei diesem Vorgang wird der Verlauf der benötigten Kraft und der Dehnung aufgezeichnet und daraus ein Zugdehnungsdiagramm erstellt. Wichtige Einzelkennwerte sind die Reißfestigkeit und -dehnung. Der Zugversuch kann auch an vielen Fertigteilen durchgeführt werden »10.

### Sinn und Zweck der Zugversuchsprüfung

Die Zugversuchsprüfung liefert unter verschiedenen Aspekten praktischen Nutzen für den Anwender:

- Aussagen über die mechanische Belastbarkeit – Die Ergebnisse aus dem Zugversuch sind in vielen Fällen für den Konstrukteur auf den ersten Blick weniger von Interesse, da Elastomere nur selten dauerhaft auf Zugdehnung beansprucht werden. Jedoch darf nicht vergessen werden, dass es während des Montageprozesses zu großen Aufweitungen (> 100%) kommen kann. Außerdem ergibt eine hohe Reißdehnung bei stark verpressten Dichtungen eine höhere Sicherheit gegen Spannungsrisse. Sie verhindert nämlich, dass die Dichtung im Inneren aufgrund der hohen Verformung aufplatzt.
- Aussagen über die Mischungs- und Verarbeitungsqualität eines Werkstoffes – Nach Dick [1] erhält der Qualitätssicherer durch den Zugversuch Aussagen, ob der Compound gründlich gemischt und dispergiert wurde, ob Verunreinigungen durch Fremdpartikel, wie z.B. Schmutz oder Papier vorliegen, ob der Werkstoff über- oder untervernetzt wurde oder ob Porositäten vorliegen. Es ist nicht immer leicht herauszufinden, ob auftretende Probleme auf eine schlechte Mischungsqualität oder auf eine minderwertige Verarbeitungsqualität (z.B. beim Spritzgießen) zurückzuführen sind. Manchmal reicht hier der Zugversuch nicht. Schließlich ist es für den Praktiker noch bedeutsam zu wissen, dass Labor- bzw. Prüfplattenmischungen normalerweise bessere Zugfestigkeiten aufweisen als Mischungen im Produktionsmaßstab, da erstere gründlicher dispergiert sind.
- Aussagen über die Lebensdauer und mechanische und chemische Beständigkeit/ Belastungsgrenzen von Werkstoffen (Alterung) – Um Aussagen über die Lebensdauer von Werkstoffen zu bekommen, werden gealterte Prüfstäbe mit produktionsfrischen verglichen. Die Alterung findet entweder durch Luft oder spezielle Prüfmedien (z.B. Öle, Kraftstoffe, Heiß-

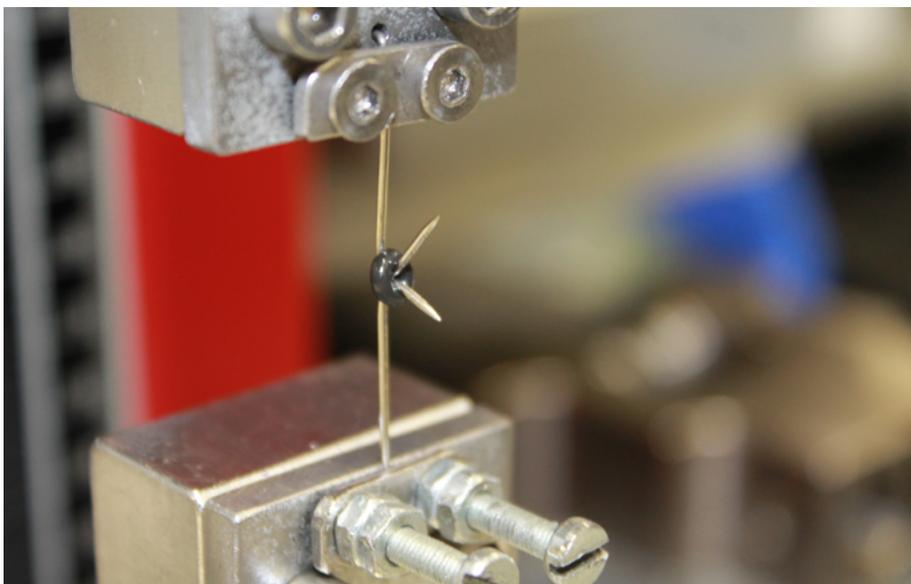
wasser usw.) bei erhöhter Temperatur statt. Hier interessieren in erster Linie die prozentualen Änderungen der Prüfparameter Zugfestigkeit und Reißdehnung, die eine Aussage über das Netzwerk abgeben. Die prozentualen Änderungen zeigen an, inwieweit das dreidimensionale Netzwerk beschädigt ist. Durch lange Prüfzeiten können auch Lebensdauerbelastungen simuliert werden.

- Werkstoffkenndaten für numerische Berechnungen – Im Gegensatz zu vielen anderen Werkstoffen ist die Berechnung von Elastomeren ein sehr komplexes Feld, da die Thermoviskoelastizität von Gummwerkstoffen und wichtige andere Eigenschaften eines Compounds stark von der jeweiligen Mischung und Einsatztemperatur abhängen und rechnerisch nicht einfach zu erfassen und zu beschreiben sind. Um das Materialmodell einer Mischung zu erhalten, ist – je nach Fragestellung – eine umfangreiche Ermittlung der jeweiligen Werkstoffkenndaten notwendig. Dabei ist auch der Zugversuch – teilweise mit Temperierkammer – eines von mehreren wichtigen Prüfmethoden [2, 3].
- Aussagen über die Polymer-Füllstoff-Wechselwirkungen – In der nichtlinearen, häufig mit einem Wendepunkt versehenen Spannungs-/Dehnungskurve zeigt sich u.a. auch die Wirkung der verstärkenden Füllstoffe. Während im ersten, stärker ansteigenden Teil der Kurve im Wesentlichen Polymerketten gestreckt werden, erkennt man im flacher werdenden Teil die teilweise Ablösung des Polymers vom Füllstoff.

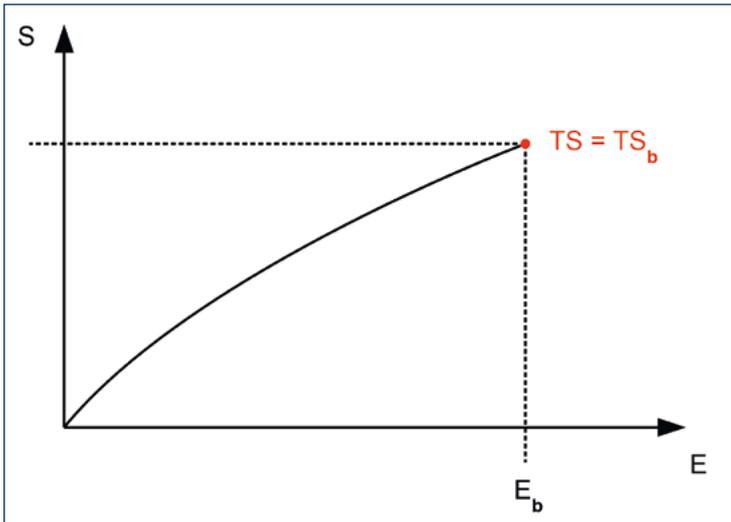
### Wichtige Prüfnormen zum Zugversuch

Die in Deutschland am meisten verwendeten Normen ISO 37 (11-2017) und DIN 53504 (03-2017) definieren die Prüfung an Standardprobekörpern.

Für genormte Probekörper kommen am häufigsten hantelförmige Probestäbe (Schulterstäbe) zum Einsatz. Diese werden i.d.R. aus vulkanisierten Elastomerprüfplatten ausgestanzt. Die ISO 37 definiert fünf verschiedene Schulterstäbe, die Typen 2 und 3 werden am häufigsten verwendet. Der „Type 2“ ist identisch mit dem „S2-Stab“ in der DIN 53504 und „Type 3“ mit dem „S3A-Stab“. So-



»10 Zugversuch an einem Mikro-O-Ring mit eigenentwickelten Halterungen  
(Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)



#### »11 Zugdehnungskurve eines Elastomers:

Die Höchstkraft  $F_{\max}$  (= TS) ist gleich der beim Reißen auftretenden Kraft  $F_R$  ( $TS_b$ ) [6].

Legende:

$E$  = elongation/Dehnung (%),  $E_b$  = elongation at

break/ Reißdehnung (%),  $S$  = stress/Zugspannung,

$TS$  = tensile strength/Zugfestigkeit ( $N/mm^2$ ),

$TS_b$  = tensile strength at break/Reißfestigkeit ( $N/mm^2$ )

(Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

wohl die ISO 37 als auch die DIN 53504 definieren auch je zwei Rechteckringe zur Zugprüfung. Diese sind aber im heutigen Prüfalltag fast gänzlich von den Schulterstäben verdrängt. Die DIN 53504 gibt zwar auch Hinweise zur Prüfung von O-Ringen, jedoch nur für O-Ringe ab 34,8 mm Innendurchmesser. Die ASTM D1414 beschreibt dagegen sehr detailliert die Prüfung auch von kleineren O-Ringen und wird auch bei der O-Ring-Werkstoffnorm ISO 3601-5 angezogen.

Als Prüfgeschwindigkeit werden in der ISO 37 200 mm/min (für Stabprüfkörper Type 3 und 4) und 500 mm/min (für Stabprüfkörper Type 1, 1A und 2) vorgeschrieben. Die DIN 53504 fordert für die Schulterstäbe S2, S3 und S3A eine Vorschubgeschwindigkeit von 200 mm/min und für die größeren Stäbe S1 und S1A 500 mm/min.

#### Wichtige Kennwerte aus dem Zugversuch und ihre Bedeutung für die Praxis [4]

Die Reißfestigkeit  $\sigma_r$  ist die Kraft im Moment des Reißens  $F_R$  der Probe, bezogen auf den Anfangsquerschnitt  $A_0$ . Sie wird in  $N/mm^2$  oder MPa angegeben. Elastomere mit geringer Festigkeit weisen Werte von  $< 5 N/mm^2$  (bzw. MPa) und solche mit hoher Festigkeit Werte  $> 15 N/mm^2$  auf. Für HNBR-Elastomere sind Werte über  $30 N/mm^2$  möglich.

Ein verwandter Materialkennwert ist die Zugfestigkeit  $\sigma_{\max}$ . Dabei handelt es sich um den Quotient von Höchstkraft  $F_{\max}$  und Anfangs-

querschnitt  $A_0$ . Bei den meisten Elastomeren ist jedoch die Höchstkraft mit der Kraft im Augenblick des Reißens identisch.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Begriffe Reiß- und Zugfestigkeit oft synonym verwendet werden, weil: „...bei Elastomeren (...) die beim Reißen auftretende Kraft  $F_R$  im Allgemeinen auch die Höchstkraft  $F_{\max}$  ist, wenn der Zugversuch bei Raumtemperatur (...) durchgeführt wird [5] »11.

Bei Elastomeren kommt es im Verlauf des Zugversuches durch die Dehnung zu einer starken Verkleinerung des ursprünglichen Querschnittes. Würde man die Spannung mit dem Querschnitt im Moment des Reißens berechnen, erhielte man mitunter bis zu zehnfach so große Ergebniswerte [7] »12.

Bei Elastomeren gibt es nur einen sehr kleinen Bereich, in dem das Hookesche Gesetz gilt. Gummiwerkstoffe werden also so gut wie immer in einem Bereich verwendet, für den kein einzelnes Elastizitätsmodul mehr angegeben werden kann. Ecker [8] spricht hier vom „differenziellen Elastizitätsmodul  $E''$ “. Beim Zugversuch ist es daher üblich, die Spannungswerte bei z.B. 100% bzw. 200% Dehnung anzugeben. Laut DIN 53504 ist der Spannungswert  $\sigma_i$  der Quotient aus der bei Erreichen einer bestimmten Dehnung vorhandenen Zugkraft  $F_i$  und dem Anfangsquerschnitt  $A_0$  [9]. Mitunter ist noch die früher übliche Bezeichnung „Modulwert“ (z.B.



#### »12 Gedehnter Schulterstab, kurz vor dem Reißen.

Die Längenänderungsaufnehmer liegen am Schulterstab an und messen dessen Dehnung

(Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

M100 für den Spannungswert bei 100% Dehnung) anzutreffen, was aber aus oben erwähnten Gründen nicht korrekt ist.

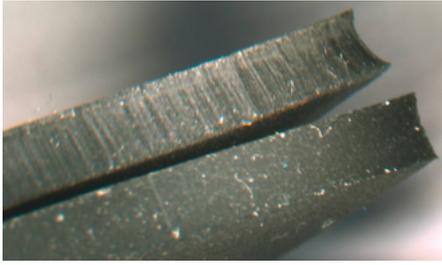
Mithilfe des Zugversuches lassen sich u.a. Aussagen über den optimalen Vernetzungsgrad eines Werkstoffes treffen. Auf der anderen Seite ist es aber auch wichtig zu wissen, welche äußeren Einflussfaktoren Prüfergebnisse aus dem Zugversuch signifikant verändern bzw. sogar verfälschen können.

#### Einfluss der Probekörperherstellung

Bei der Probekörperherstellung ist sorgfältig vorzugehen. Prüfstäbe werden aus 2 mm starken Prüfplatten ausgestanzt. Beim Stanzen wird die Prüfplatte vor und während des Abscherens zusammengedrückt, was nach der Entspannung zu einer konkaven Geometrie führt. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt bei stumpfen Stanzwerkzeugen. Betrachtet man nun einen solchen Prüfstab im Querschnitt, wird ersichtlich, dass am Beginn bzw. Ende der konkaven Schnittkante eine Spitze entstanden ist. An dieser Stelle kommt es meist zu einem verfrühten Einreißen, das nach unserer Erfahrung die Prüfergebnisse um bis zu 10% verschlechtern kann »13.

#### Einfluss erhöhter Temperatur

Generell gilt, dass bei Elastomeren mit steigender Temperatur die Zugfestigkeit und Reißdehnung abnehmen. Bei hohen Temperaturen sinken die physischen Belastungsgrenzen eines elastomeren Werkstoffes. Sol-



»13 Vergleich der Schnittflächen an einem S2-Stab: Der obere Schulterstab wurde mit einem klassischen Stanzwerkzeug gestanzt, der untere mit einem Stanzmesser

(Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

che Versuche geben also Hinweise auf die wirklichen Belastungsgrenzen eines Werkstoffes im realen Einsatz, der meist unter erhöhter Temperatur stattfindet. Bei Compounds mit einem hohen Füllstoffanteil ist der Temperatureinfluss geringer. »14 gibt einen Überblick, wie sich Zugfestigkeit und Reißdehnung mit zunehmender Härte und Temperatur verändern können [10]. Der starke Abfall beider Eigenschaften beginnt bereits bei nur leicht erhöhten Temperaturen – noch weit entfernt von den realen Einsatztemperaturen.

#### **Einfluss veränderter Verformungsgeschwindigkeit**

In der ISO 37 ist die Prüfgeschwindigkeit auf 100, 200 und 500 mm/min festgelegt. Nach BROWN [11] hat eine Abweichung von den in den Normen geforderten Prüfgeschwindigkeiten von  $\pm 10\%$  i.d.R. einen vernachlässigbaren Effekt auf die Zugfestigkeit.

#### **Einfluss des Probekörperquerschnitts bzw. -volumens**

Bereits 1948 konnten HIGUCHI [12] und Mitarbeiter bei Zugversuchen an verschiedenen Elastomermischungen (NR, SBR u.a.) die Abhängigkeit der Zugfestigkeit vom Volumen nachweisen, während Spannungswerte und Reißdehnung davon kaum beeinflusst werden. NAGDI [13] beschreibt den Einfluss der Probekörpergeometrie auf die Zugfestigkeit wie folgt: „Im Allgemeinen gilt die Regel: Je größer der Anfangsquerschnitt oder je größer das Volumen des Probekörpers, umso geringer ist die Reißfestigkeit. Diese Abhängigkeit lässt sich durch die Anzahl der Fehlstellen in der Probe erklären. Je kleiner das Volumen der Probe, umso geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass Fehlstellen vorhanden sind.“

Auf einer Vortragstagung der Deutschen Kautschuk Gesellschaft im Jahr 1960 in Berlin stellte Iman NAZENI [14] eine interessante Untersu-

	Prüftemperatur	FKM 55 ShA	FKM 60 ShA	FKM 75 ShA
<b>Zugfestigkeit [N/mm<sup>2</sup>]</b>	23 °C	8,5	11,1	10,4
	70 °C	3,0	4,6	5,4
	120 °C	2,1	2,6	3,7
	150 °C	1,8	2,2	3,3
<b>Reißdehnung [%]</b>	23 °C	282	236	231
	70 °C	170	143	140
	120 °C	116	99	84
	150 °C	90	81	72

»14 Einfluss der Temperatur und unterschiedlicher Härten auf Zugfestigkeit und Reißdehnung von bisphenolisch vernetzten FKM-Mischungen (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

chung zum Einfluss der Dicke der Prüfstäbe auf das Ergebnis im Zugversuch vor: Er ging von der Voraussetzung aus, dass für unterschiedlich dicke Prüfplatten jeweils das gleiche Fell von der Walze verwendet wird. Bei der Weiterverarbeitung dieses Fells und der Herstellung von dünnen Prüfplatten wird es an bestimmten Stellen mehr verpresst. Durch den höheren Druck können höchstwahrscheinlich Mikrorisse aus dem Herstellungsprozess auf der Walze verschlossen werden. Die Verteilung der Risse ist dann wahrscheinlich nicht mehr statistisch unregelmäßig, sondern abhängig von der Dicke der Prüflinge. Dies zeigt sich durch höhere Festigkeitswerte von dünnen Prüfstäben im Vergleich zu dickeren.

#### **Einfluss des Mischungsaufbaus**

Insbesondere beim Einsatz von Rezepturen mit mineralischen, hydrophilen Füllstoffen ist bekannt, dass diese bereits nach kurzer Lagerzeit (wenige Tage) bei Raumtemperatur durch die Luftfeuchte einen deutlichen Abfall in der Festigkeit zeigen. Dies lässt sich über eine Trocknung der Proben (z.B. 4 h/150 °C) wieder rückgängig machen. Diese ist aus diesem Grund in manchen Prüfvorschriften vorgeschrieben. Besonders an farbigen Mischungen lassen sich so erhebliche Ergebnisunterschiede erklären – je nachdem, wie viel Zeit eben nach der Vulkanisation bzw. nach dem letzten Trocknen der Probe verstrichen ist.

#### **Prüfung nach Vorbelastung: Mullins-Effekt**

Normalerweise werden fast alle Zugprüfungen an unbelasteten, maximal vorab gealterten Probekörpern vorgenommen. In der Praxis gilt jedoch eine Dichtung schon kurz nach ihrem Ersteinsatz als nicht mehr unbelastet. Und als vorbelastete Dichtung verbringt sie den Großteil ihrer Lebensdauer.

In unserem Fall der Zugprüfung geht es um den Einfluss von Dehnungen des Werkstoffes vor der eigentlichen Zugprüfung, also um

den Einfluss bei einer Vorbelastung des Werkstoffes. Wenn eine Elastomerprobe aus einer gefüllten Mischung vorab gedehnt wird, nimmt die Steifheit beim darauf folgenden Zugversuch ab. Dieses Phänomen wurde erstmals 1903 von BOUASSE und CARRIERE entdeckt und 1947 von MULLINS ausführlich untersucht und beschrieben. Die Gründe, die zum Mullins-Effekt führen, können sowohl reversible als auch irreversible Vorgänge sein, die Veränderungen in der Polymer-Füllstoff- und Vernetzungsstruktur bewirken. In der Praxis ist die Kenntnis des Mullins-Effektes bei der Konstruktion und Auslegung von dämpfenden Elementen, die unter einer ständigen Vorbelastung stehen (z.B. Motorlager), besonders wichtig. Durch die Vorbelastung kann über den Mullins-Effekt die Materialcharakteristik des elastomeren Bauteiles verändert werden [15]. Bei der Bestimmung der Federsteifigkeit von Fertigbauteilen wird empfohlen, mehrere Belastungszyklen zu fahren, um reproduzierbar messen zu können. Diese Vorgeschichte muss selbstverständlich in der Prüfdokumentation vermerkt werden [16].

#### **Übliche Genauigkeiten bei Zugversuchen**

Gegen Ende der DIN 53504 befindet sich ein Kapitel, das sich mit der Präzision des Verfahrens befasst.

Dass es gerade beim Zugversuch bei verschiedenen Laboratorien zu deutlichen Unterschieden kommen kann, zeigen Ergebnisse von Ringversuchen, an denen das O-Ring Prüflabor Richter regelmäßig teilnimmt. Dort traten teilweise Unterschiede in den Messergebnissen der Zugfestigkeit von  $\pm 10\%$  auf. Typische Streuungen bei Zugversuchen liegen zwischen 2 und 10% (Standardabweichung/Mittelwert) und können noch als gummitypisch betrachtet werden. Die größten Streuungen erhält man meist bei den Reißdehnungswerten, die ge-

ringsten Streuungen bei kleinen Modulwerten (z.B. 100%).

Harte Werkstoffe (> 85 Shore A) weisen i.d.R. deutlich schlechtere Ergebnisse als weiche (50 bis 70 Shore A) auf. Liegen diese Streuungen über 15%, ist es ein klarer Hinweis auf einen Herstellungsmangel der Proben.

#### Literatur

- [1] Dick, John S.: *Rubber Technology – Compounding and Testing for Performance*, Hanser-Verlag, München, 2001, S. 49
- [2] <http://www.axelproducts.com/pages/hyperelastic.html> (Webseite abgerufen am 09.07.2014)
- [3] <http://www.axelproducts.com/downloads/TestingForHyperelastic.pdf> (Webseite abgerufen am 09.07.2014)
- [4] Die Begrifflichkeiten und Abkürzungen gemäß DIN 53504, (Ausgabe 10-2009), S. 5f.

- [5] DIN 53504 (Ausgabe 10-2009), S. 6
- [6] nach ISO 37 (Ausgabe 12-2011), S. 3 (Zur Vereinheitlichung wurden Abkürzungen der ISO 37 beibehalten.)
- [7] Houwink, R.: *Grundriss der Technologie der synthetischen Hochmolekularen*, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.G., Leipzig, 1952, S. 85
- [8] Ecker, R.: *Mechanische-technologische Prüfung von Kautschuk und Gummi* in: Boström, S. (Hrsg.): *Kautschuk-Handbuch*, Band 5, Verlag Berliner Union, Stuttgart, 1962, S. 109
- [9] DIN 53504 (Ausgabe 10-2009), S. 6
- [10] Die Ergebnisse stammen aus Versuchen, die bei den Freudenberg Forschungsdiensten (FFD), Weinheim, im Auftrag der O-Ring Prüflabor Richter GmbH durchgeführt wurden.
- [11] BROWN, Roger: *Physical Testing of Rubber*, New York, 4. Aufl., 2006, S. 140
- [12] HIGUCHI, Takeru; LEEPER, H.M.; DAVIS, D.S.: *Determination of Tensile Strength of Natural Rubber and GR-S Effect of Specimen Size in: Analytical Chemistry*; 20. Jahrgang, Nr. 11, 1948, S.1029-1033
- [13] NAGDI, Khairi: *Gummi-Werkstoffe: Ein Ratgeber für Anwender*, Ratingen, 2. Aufl. 2002, S. 290
- [14] NAZENI, Iman: *Einfluss der Dicke der Prüf-*

vulkanisate auf die Messwerte der Reißfestigkeit beim Standard-Prüfverfahren nach ASTM, vorgestellt auf der Vortragstagung der DKG, Berlin, 1960

- [15] vgl. PAIGE, Ryan E. und MARS, Will V.: *Implications of the Mullins Effect on the Stiffness of a Pre-loaded Rubber Component*. Vorgetragen bei: 2004 ABAQUS Users' Conference, S.1f. (Webseite abgerufen am 09.07.2014: <http://www.axelproducts.com/downloads/PaigeMars.pdf>)
- [16] FREUDENBERG Forschungsdienste SE & Co. KG (Hrsg.), ohne Autorenangabe: MULLINS oder PAYNE? Zwei „starke Effekte der Gummielastizität“ in: FFD IM DIALOG, Ausgabe 2\_2013, S. 25

 [DICT!digital: Langversion des Beitrages](#)

 [DICT!digital: Weiterführende Infos zum Zugversuch an Ringen](#)

## Heißluftalterung von Elastomeren – Lebens(dauer)versicherung für den Dichtungsanwender

Die Bezeichnung „Alterung“ beschreibt bei Elastomeren eine Vielzahl von Prozessen, die zu einem chemischen und physikalischen Um- und Abbau ausvulkanisierter Probekörper oder Fertigteile führen. Es wurden etliche Alterungs-Prüfmethoden entwickelt, die versuchen, in einer Art „Zeitraffer“ diese Schädigungsmechanismen aus dem Alltagseinsatz von Dichtungswerkstoffen labortechnisch abzubilden. Die Schädigungsprozesse im Alterungsprozess sind irreversibel und führen nach einer bestimmten Zeit- und Temperaturbelastung zu einer Unbrauchbarkeit des Werkstoffes. Die wissenschaftliche Erfassung und Bewertung dieser Alterungsvorgänge soll u.a. dazu dienen, dass bei der Anwendung von Werkstoffen ermittelte Zeit- und Temperaturgrenzen nicht überschritten werden. Alterung kann durch verschiedene Prozesse ausgelöst werden:

- Alterung durch Strahlung – UV-Strahlung, Licht, radioaktive Strahlung,
- Alterung durch mechanische Beanspruchung – statische bzw. dynamische Belastung,
- Alterung durch Kontaktmedien – von außen einwirkend (z.B. Kupfer), durch flüssi-

ge Medien (z.B. Öle, Kraftstoffe, Säuren, Wasser u.v.m.) oder in der Werkstoffstruktur vorhanden (z.B. Verunreinigungen, Inhomogenitäten),

- Alterung durch biologische Prozesse,
- Alterung durch Gase – Umgebungsluft (darin insbesondere durch Sauerstoff), Ozon, sonstige Gase (z.B. Blowby-Gase aus dem Motorkurbelgehäuse),
- Alterung durch Temperatur – ohne Gas- bzw. Luftzufuhr, also in inerte bzw. abgeschlossener Atmosphäre (z.B. im Autoklaven), oder mit Frischluftzufuhr (eine Kombination von Alterung durch Gase (O<sub>2</sub>) und Temperatur).

Bei der Heißluftalterung handelt es sich um eine Methode, die die beiden letzten Punkte kombiniert, also um eine genormte Alterungsprüfung mithilfe erhitzter Umgebungsluft. Dabei wird ein genormter Probekörper über einen vorab bestimmten Zeitraum bei einer vorab festgelegten konstanten Temperatur heißer Umgebungsluft ausgesetzt. Dies geschieht entweder für mehrere Proben in einer Art Umluftofen mit Frischluftzufuhr »15 oder in nach Proben getrennten Zellenöfen »16. Die Bewertung der heißluftgealterten Werkstoffe erfolgt mithilfe eines Vergleichs physikalischer Werte (z.B. Härte, Zugfestigkeit, Reißdehnung u.ä.) vor und nach der Alterung.

»15 Wärmeschrank mit geöffneter Tür und Einlegegittern, auf welchen die Probekörperhalterungen platziert werden (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)



aus DICT! 1.2017 und 2.2017



»16 Einführen der Zelle (= Borsilikatglasröhre) in den Zellenofen (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

Durch die Heißluftalterung verhärtet die meisten Elastomere und die physikalischen Eigenschaften, wie z.B. die Zugfestigkeit und Reißdehnung, nehmen gravierend ab. Die Eigenschaften eines Elastomerwerkstoffes ändern sich exponentiell mit der Temperatur (Arrheniusfunktion) und eher linear mit der Expositionszeit. Deswegen ist es wichtig, den Grenzeinsatztemperaturbereich des Elastomers zu kennen (die wiederum von der Beanspruchungszeit abhängt), da sich dort kleine Temperaturerhöhungen bereits stark bemerkbar machen können.

#### Das bewirkt die drucklose Heißluftalterung Oxidation

Der Prozess der Oxidation ist in der praktischen Anwendung unerwünscht, da er das Polymer zerstört. Bei der Heißluftalterung wird versucht, diesen bzw. einen der Realität ähnlichen Prozess der Oxidation unter definierten und reproduzierbaren Bedingungen durchzuführen. Entscheidend für eine effektive künstliche Alterung ist eine möglichst hohe Prüftemperatur, da die Oxidation pro 10K Temperaturerhöhung um den Faktor 2 bis 4 zunimmt und eine möglichst gleichmäßige Diffusion des Sauerstoffs in den Probekörper erwünscht ist. In der Praxis ist jedoch meist nur eine heterogene Oxidation möglich, d.h., dass die Randbereiche des Probekörpers stärker altern als die innenliegenden Bereiche. Die oxidative Alterung besteht im Wesentlichen aus zwei Faktoren:

- Bruch von Molekülketten (Abbau des Molekülgerüsts) und
- Nachvernetzung (Aufbau des Molekülgerüsts).

#### Ausgasen flüchtiger Bestandteile

Durch die Hitze gasen die flüchtigen Bestandteile (u.a. Weichmacher) an der Oberfläche des Probekörpers aus und werden dann in klassischen Wärmeschrank durch die Luftströmung abtransportiert. Es gilt diesen Effekt zu vermeiden bzw. gering zu halten, da er unerwünscht ist.

#### Kreuzkontamination verschiedener Proben

Werden Probekörper verschiedener Elastomermischungen in demselben Ofen gelagert kann es zu einem Austausch flüchtiger Bestandteile kommen, die, z.B. aus Mischung A, ausgasen und dann in Mischung B eindiffundieren. Dieser Fall ist ein unerwünschter Nebeneffekt, den es zu vermeiden gilt.

#### Weitere unerwünschte Effekte

Es ist auch darauf zu achten, dass die Luft der Öfen keine Kautschukgifte enthält. Diese Schwermetallverbindungen beschleunigen die Alterung von Elastomeren. Besonders seien hier Kupfer, Mangan und deren Verbindungen erwähnt.

#### Praktischer Nutzen des Verfahrens

##### Aussagen über die Hitzebeständigkeit eines Werkstoffes

Wird ein Elastomer Heißluft ausgesetzt, verändern sich seine physikalischen Eigenschaften. Besonders empfindlich auf Oxidation reagieren die Reißdehnung und Zugfestigkeit eines Gummiwerkstoffes. Bei der Heißluftalterung wird nun ein Bauteil einer vorab festgelegten Grenztemperatur ausgesetzt. Zur Bewertung der Ergebnisse werden wichtige Werkstoffparameter nach der Heißluftalterung mit ungealterten Proben verglichen (z.B. Härte, Volumen, Zugfestigkeit, Reißdehnung u.ä.). Die ermittelten Änderungen geben eine Aussage über die Schädigung des Netzwerkes. Die Heißluftalterung beleuchtet allerdings nur den Aspekt der Oxidation. In vielen praktischen Anwendungen kommen aber noch Medien, wie z.B. Kraftstoffe, hochadditivierte Öle oder aggressive Säuren hinzu.

##### Vorhersagen über die Lebensdauer eines Werkstoffes

In der Praxis von Dichtungsanwendungen tauchten häufig die Fragen auf, welche Lebensdauer ein Bauteil hat und welche maximale Temperatur ein bestimmter Elastomer-Compound aushält. Es lassen sich hier keine eindeutigen Antworten geben. Die Lebensdauer und maximale Temperaturbeständigkeit eines Werkstoffes können immer nur in einer Kombination aus dauerhafter max. Be-

lastungstemperatur und -zeit angegeben werden. Generell gilt, je kürzer die geforderte Lebensdauer ist, umso höher kann die maximale Grenztemperatur eines vorgegebenen bzw. zu untersuchenden Werkstoffes sein. In der Praxis tritt jedoch selten eine einzelne Dauertemperatur über den ganzen Gebrauchszeitraum auf. Meistens handelt es sich um Temperaturkollektive. Mithilfe mathematischer-physikalischer Operationen lassen sich isotherme Ersatzbeanspruchungen ermitteln.

##### Aussagen über die Mischungs- und Verarbeitungsqualität eines Werkstoffes

Die Heißluftalterung gibt nur Auskunft über einen bestimmten Bereich der Mischungsqualität, so z.B. über die Hitzestabilität des Compounds (z.B. Beimischung von Antioxidantien, Verwendung bestimmter Vernetzungssysteme u.v.m.). Wenn man die Ermittlung des Druckverformungsrestes – die mithilfe eines Heißluftofens stattfindet – auch als Unterprüfmethode der Heißluftalterung betrachtet, kann man mit dieser Methode gute Auskunft, v.a. über die Verarbeitungsqualität, bekommen.

##### Prüfnormen zur Heißluftalterung

Im Prüfalltag in deutschen Laboren ist die ISO 188 die am häufigsten angewendete Norm. Ebenfalls zur Verwendung kommen die DIN 53508, die ASTM 573 und D865.

##### ISO 188 [1]

Diese Norm unterscheidet zwischen zwei Methoden:

- „Method A“ – Alterung in einem Zellenofen oder in einem Wärmeschrank mit langsamer Strömungsgeschwindigkeit mit mind. 3 bis 10 Luftwechseln/h.
- „Method B“ – Wärmeschrank mit zwangsläufiger Durchlüftung, bei 3 bis 10 Luftwechseln/h.

Diese Norm stellt auch Anforderungen an die Öfen. Der klassische Wärmeschrank besitzt eine große Ähnlichkeit mit einem Umluftbackofen, beim Zellenofen handelt es sich um Glasröhren, überdimensionierten Reagenzglasern ähnlich, die in einen guten thermischen Leiter eingebracht werden. Abluft aus einer Zelle soll nicht in andere Zellen einströmen. Bei Öfen mit zwangsläufiger Durchlüftung wird unterschieden zwischen „Type 1“ (laminare Strömung) und „Type 2“ (turbulente Strömung). Die meisten Alterungsprüfungen erfolgen in einem Wärmeschrank der „Method B, Type 1“ (zwangsläufige Durchlüftung mit laminarer Strömung).



»17 Heißluftalterung an O-Ringen: Durch die vereinzelt Aufhängung wird eine Kontaktmigration von Inhaltsstoffen zwischen den Ringen vermieden. Die gebogenen Drähte an den O-Ringen dienen zur Unterscheidung (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

Hinsichtlich der Anforderungen an die Probekörper empfiehlt die ISO 188 Alterungsprüfungen nur an genormten Probekörpern, nicht jedoch an Fertigteilen. Außerdem sollten nur Probekörper mit ähnlichen Dimensionen miteinander verglichen werden. In der Praxis werden aber dennoch Fertigteilverfahren »17 durchgeföhrt, die aber nur bedingt zur Ermittlung von rezepturspezifischen Werkstoffkennwerten geeignet sind, sie bilden aber die Anwendung am besten ab.

Die Dauer der Alterungsprüfung sollte so bemessen sein, dass nach deren Ende noch physikalische Prüfungen der Probekörper möglich sind. Es darf also der Elastomerprobekörper nicht so stark geschädigt werden, dass er sich z.B. nicht mehr in eine Zugprüfmaschine einspannen ließe. Die Alterungstemperatur sollte so hoch wie möglich sein, jedoch erhält man bei zu hohen Temperaturen andere Schädigungsmechanismen als in der Praxis. Die Einlagerungstemperaturen sollten so konstant wie möglich gehalten werden, da eine Abweichung nur um 1 °C einem Unterschied von 10% in der Alterungszeit entspricht (bei einem Arrhenius-Faktor von ca. 2).



»18 Mit drei ASTM Probekörpern „C bestückte“ Zelle (= Borsilikatglasröhre) nach ASTM D865 (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

#### ASTM D865 – 11 [2]

Die ASTM D865 befasst sich ausschließlich mit der Heißluftalterung in Zellenöfen. Die „Zellen“ bestehen aus Borsilikatglasröhren »18 und 19. Die Zellen müssen eine Länge von 300 mm bei einem Durchmesser von 38 mm haben. Wichtige Angaben zum Prüfungsablauf sind:

- Nicht mehr als drei Probekörper pro Zelle.
- Pro Zelle sollen nur Probekörper aus demselben Compound geprüft werden.
- Die Probekörper sollen frei hängen, also sich gegenseitig nicht beröhren, ebenso nicht die Zellenwand.
- Die reagenzglasförmige Zelle wird mit einem Stöpsel verschlossen, in welchem sich zwei Glasröhrcchen befinden, die als Ein- und Auslass für die Umgebungsluft dienen.
- Es werden keine Luftwechselraten oder Strömungsgeschwindigkeiten vorgeschrieben.



»19 Die weißen Keramikringe dienen als Distanzhalter, um eine Migration von Inhaltsstoffen zu vermeiden (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

- Nach der Prüfung müssen die Zellen gründlich gereinigt werden, um flüchtige Bestandteile aus der Alterungsprüfung, die an den Glaswänden kondensiert sind, zu entfernen.

#### Bewertung von Prüfergebnissen

Wenn man Prüfbedingungen und damit Alterungseffekte am Elastomer schaffen will, die möglichst gut den Praxiseinsatz widerspiegeln, ist es notwendig, wichtige Einflussfaktoren auf die Alterung zu kennen und diese zu beherrschen.

#### Einfluss der Temperaturstabilität

Den größten und wichtigsten Einfluss auf die Prüfergebnisse hat die Temperatur. Es wird zwischen der Temperaturkonstanz über die gesamte Prüfzeit und der Temperaturkonstanz an verschiedenen Punkten innerhalb des Ofens unterschieden. Mit moderner elektronischer Temperaturregelung ist die Einhaltung einer maximalen Abweichung von Werten kleiner 0,5 K möglich. Generell gilt, dass an keinem Ort des Ofens, an welchem sich Probekörper befinden, die Abweichung von der eingestellten Ofentemperatur größer als die in der Norm beschriebenen Toleranzen sein darf (ISO 188: Einlagerungstemperaturen  $\leq 100\text{ °C} \rightarrow \pm 1\text{ °C}$  und bei  $T \geq 125\text{ °C} \rightarrow \pm 2\text{ °C}$ ).

### **Einfluss der Anström- bzw. Luftgeschwindigkeit („air speed“)**

Die ISO 188 beschreibt, dass hohe Luftgeschwindigkeiten die Temperaturhomogenität im Ofen verbessern. Bei einer langsamen Luftgeschwindigkeit sammeln sich ausgegaste Mischungsbestandteile und Abbauprodukte im Ofen an. Es kann auch noch eine Sauerstoffabnahme hinzukommen. Die ISO schreibt inzwischen Luftgeschwindigkeiten vor und unterscheidet zwischen laminarer und turbulenter Strömung [3].

Durch die Wärmealterung im Zellenofen mit praktisch einer gegen Null gehenden Luftgeschwindigkeit kommt es zu einer viel geringeren Alterung der Oberfläche der Probekörper als in Wärmeschränken. Die Mikrohärt misst hauptsächlich Oberflächeneffekte. So

ist es auch zu erklären, dass die Härteänderung sensibler auf die Luftgeschwindigkeit reagiert als Parameter aus dem Zugversuch [4].

### **Einfluss der Probekörpergeometrie**

Außerdem spielt das Oberflächen-/Volumenverhältnis der Probekörper eine bedeutende Rolle. Es beeinflusst maßgeblich die Alterung. Bei einem günstigen Verhältnis (kleine Oberfläche bei großem Volumen) kommt es zu einer verzögerten Alterung, da verhältnismäßig wenig Sauerstoff in den Werkstoff eindringen kann und weniger Antioxidantien ausgasen können bzw. verbraucht werden.

### **Literatur**

[1] vgl. **International Standard ISO 188: Rubber, vulcanized or thermoplastic — Accelerated ageing and heat resistance tests, Fifth Edition: 2011-10-01**

[2] vgl. **ASTM – International: Designation: D865-11: Standard Test Method for Rubber – Deterioration by Heating in Air (Test Tube Enclosure), Approved 2011**

[3] vgl. **International Standard ISO 188: Rubber, vulcanized or thermoplastic — Accelerated ageing and heat resistance tests, Fifth Edition: 2011-10-01, S. 2, Unterabschnitte 4.1.1 und 4.1.3**

[4] vgl. **Spetz, Göran: Recent Developments in Heat Ageing Tests and Equipment in: Polymer Testing, 15. Jg., Heft 4, 1996, S. 388**

 [DICT!digital: Weiterführende Informationen zur Heißluftalterung](#)

 [DICT!digital: 100 Jahre Heißluftalterung nach W.C.Geer](#)

## Physikalische analytische Prüfverfahren – Charakterprüfung für Elastomere

aus DICT! 3.2017

### **Thermogravimetrische Analyse (TGA):**

Diese Methode bietet sich zur Beschreibung von Rezepturzusammensetzungen und zum schnellen Nachweis der Rezepturkonstanz an. Gummimischungen und elastomere Fertigteile sind vielkomponentige Gemische aus Verarbeitungshilfen, Weichmachern, Polymeren, Rußen und Füllstoffen. Sie alle spielen für die Gebrauchseigenschaften eine Rolle. Auch wenn es extrem schwierig ist, aus einem vulkanisierten Artikel die Originalrezeptur zu ermitteln, haben sich doch näherungsweise Verfahren etabliert, mit denen z.B. quantitativ die Anteile der Hauptkomponenten schnell und reproduzierbar gemessen werden können.

In der TGA wird eine Werkstoffprobe (ca. 10 mg) kontinuierlich bis zu max. 1.000 °C erhitzt und dabei der relative Gewichtsverlust über der Temperatur gemessen. Die Auswertung erlaubt die quantitative Ermittlung der Mischungsbestandteile in verdampfbare bzw. flüchtige Bestandteile (überwiegend Weichmacher), pyrolysierbare Bestandteile (überwiegend Polymer), oxidierbare Bestandteile (überwiegend Ruß) und nicht oxidierbare Bestandteile (Füllstoffe, v.a. Metalloxide), auch als Ascherest bezeichnet.

Leider gibt es keine Universal-TGA-Methode, um der vielfältigen Welt der Elastomere gerecht zu werden. In Gebrauch sind u.a. verschiedene Prüfvorschriften sowie viele Werks- oder eigene Labornormen:

- VDA 675 135 (2016-05) – die alte Ausgabe beschrieb eine effektive, einfache Methode mit konstanter Heizrate, die neue Ausgabe der Norm von 2016 hat sich der ISO 9924 angenähert.
- ISO 9924-2 (2016-08) – sie bietet sich für polare und halogenhaltige Proben mit langer Messzeit an und hat den Vorteil, dass der bei der Polymerpyrolyse entstehende Ruß (meistens) separat erkannt und nicht der Rußmenge zugeschlagen wird.
- DIN EN ISO 11358 (2014-10) – sie ist eine allgemeine Beschreibung der Durchführung einer thermogravimetrischen Analyse, das Aufheizprogramm wird nicht definiert.

»20 zeigt ein Beispiel für die Ergebnisse einer TGA. Die grüne Kurve stellt die Gewichtsabnahme über der Temperatur dar (Einwaage bei RT = 100%), die blaue Kurve die erste Ableitung des relativen Gewichtes über der Temperatur. Letztere dient der genaueren Unterscheidung der Kurvenverläufe und der Ergebnisse. Die Methode nach ISO 9924-2 lässt hier neben 11,8% flüchtigen Bestandteilen und

49,1% pyrolysierbaren Bestandteilen noch 2,1% Pyrolyseruß erkennen. Der hohe Ascherest von 36,8% und die geringen oxidierbaren Bestandteile von 0,2% sind typisch für eine farbige Mischung ohne Ruß als Füllstoff.

### **Dynamische Differenzkalorimetrie (DDK), besser bekannt als DSC**

Diese DSC-Methode (Differential Scanning Calorimetry) misst Änderungen der spezifischen Wärmekapazität an Proben in Abhängigkeit von der Temperatur. Die spezifische Wärmekapazität gibt an, wie viel thermische Energie ein Stoff speichern kann. Die häufigste und bekannteste Anwendung dieser Methode im Elastomerbereich ist die Ermittlung des Glasübergangs. Dieser wird mittels des Wendepunktes des Wärmestroms über der Temperatur ermittelt. Die dazu am häufigsten in Laboren angewendete Prüfmethode ist die ISO 11357-2, bei der alternativ der Glasübergangspunkt mittels erster Ableitung (Ti,g) bzw. halber Höhe der Tangenten (T1/2,g) ermittelt wird »21. Weitere Prüfnormen für die DSC sind die VDA 675116, die ASTM D3418 und die ASTM D7426. Die nach einem kalorimetrischen Messprinzip ermittelte Glasübergangstemperatur stimmt jedoch nicht immer mit der thermomechanischen Glasübergangstemperatur überein.

Das heißt, die ermittelten Temperaturen sind nicht immer verlässliche Tieftemperaturgrenzen für Dichtungsanwendungen, da insbesondere kristalline Sequenzen im Polymer die Rückstellung behindern können. Das kann besonders bei EPDM- und HNBR-Werkstoffen vorkommen. Daher wird für EPDM- und HNBR-Werkstoffe zur Ermittlung der Tieftemperaturgrenze ein anderes Verfahren empfohlen (TR 10 nach ISO 2921, Druckverformungsrest bei tiefen Temperaturen nach ISO 815-2 oder dynamisch in der DMA). Des Weiteren bietet die DSC-Analyse die Möglichkeit, endo- und exotherme Reaktionen beim Aufheizen und anschließendem Abkühlen zu erkennen und zu quantifizieren. Das kann z.B. hilfreich sein, um Restmengen von Vernetzer im Elastomer nachzuweisen.

**Dynamische mechanische Analyse (DMA):**

Eine immer wichtiger werdende Prüfmethode, u.a. zur Ermittlung von Kennwerten für die numerische Simulation, ist die DMA. In den letzten Jahren hat dieses Verfahren stark an Bedeutung gewonnen und ist nicht mehr der reinen Werkstoffforschung vorbehalten. Elastomere sind viskoelastische Materialien und vereinen viskose und elastische Eigenschaften in sich. Diese Eigenschaften lassen sich ideal in dynamischen Versuchen mithilfe der DMA messen. Sie misst quantitativ und qualitativ (bei verschiedenen Verformungen und Frequenzen):

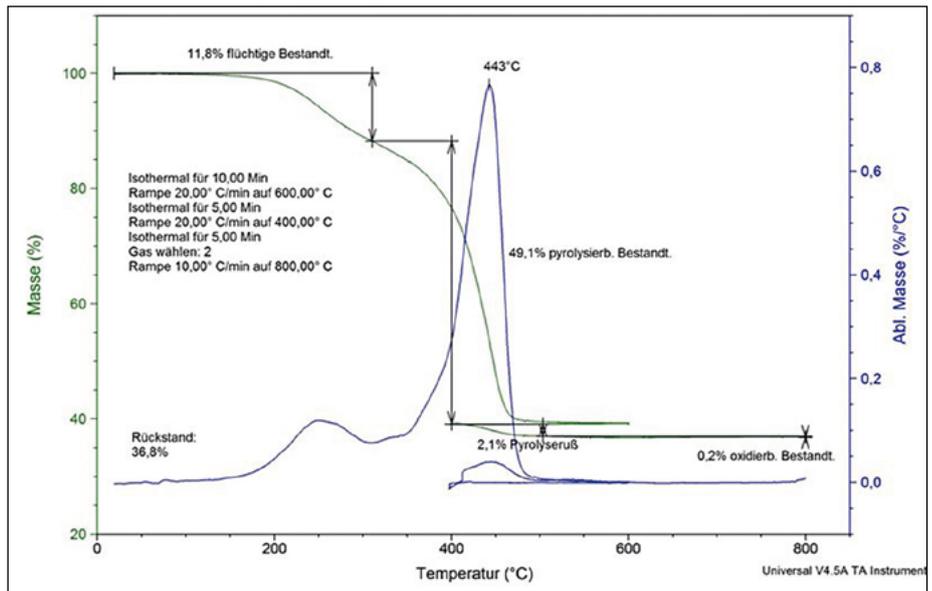
- Viskoelastisches Verhalten und Dämpfungseigenschaften, Verlust- und Speichermodul,
- Fließ- und Relaxationsverhalten in Abhängigkeit von der Temperatur (-100 °C bis 600 °C).

Im Gegensatz zu älteren dynamischen Prüfmethoden, die meist genau genormte Probekörper benötigen, kann die DMA Abschnitte aus Fertigteilen, Prüfplatten oder Schadensteilen problemlos analysieren. Standardmäßig kommen im Zugmodus die üblichen, im Einspannbereich gekürzten Zugprobekörper (S3A, S3 etc.) zum Einsatz. Für den Druck- und Biegemodus braucht es planparallele Proben aus Prüfplatten oder Fertigteilen.

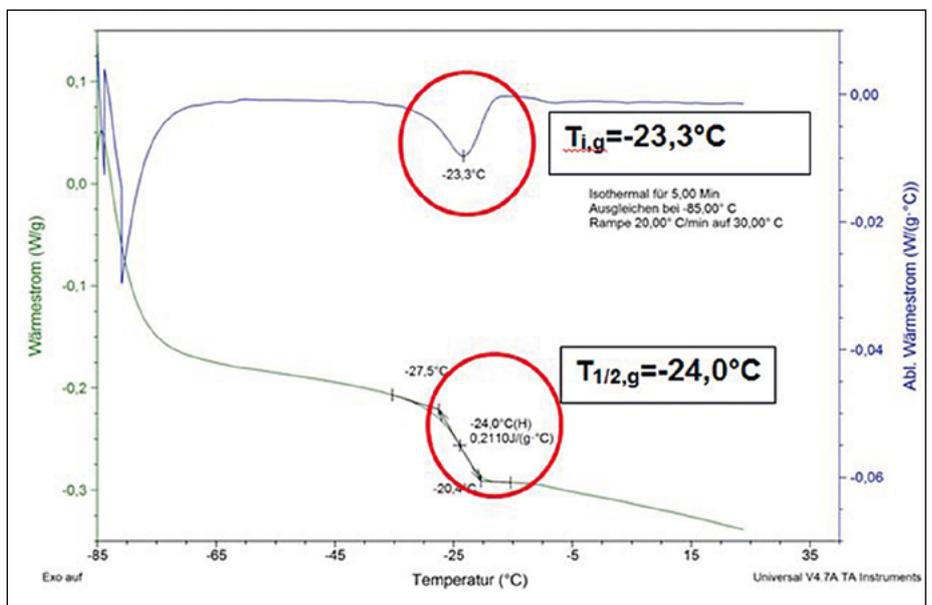
Die häufigsten Prüfmodi sind:

- Cantilever (eingespannte Biegung, einfach oder doppelt),
- Zugmodus,
- Druckmodus.

Die Prüfung erfolgt nach festgelegten Normen, wie z.B. der ISO 6721-1, oder Spezifikationen von Anwendern. Im Gegensatz zu den beschränkten Messmöglichkeiten bei



»20 Ergebniskurven einer TGA-Prüfung (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)



»21 Ergebniskurven einer DSC-Prüfung zur Bestimmung des Glasübergangs (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

TGA und DSC stehen bei der DMA viele Möglichkeiten zur Verfügung:

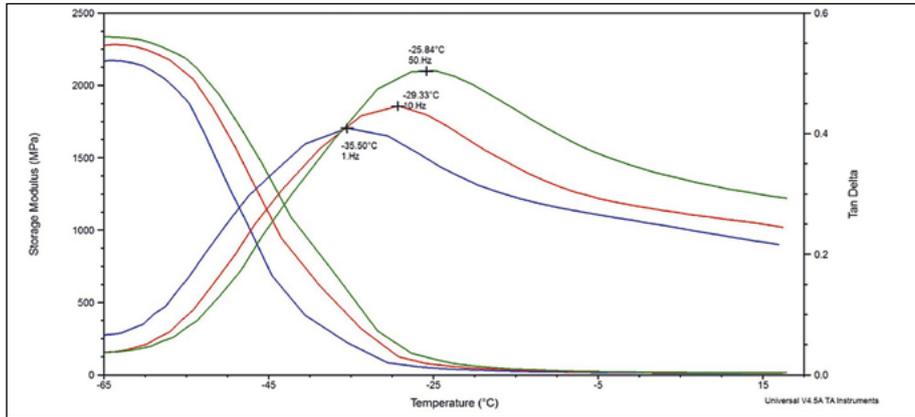
- Weg, verschiedene Amplituden,
- Frequenzen,
- Kraft, statisch oder dynamisch,
- Speicher- und Verlustmodul,
- Verlustwinkel (tan δ),
- Glasübergang (frequenzabhängig).

Alle Größen werden in einem sehr kleinen Toleranzbereich gemessen:

- Kraft max. 18 N (Auflösung: 10<sup>-5</sup> N),
- Wegauflösung 1 nm,
- Frequenz (sinusförmig) bis max. 200 Hz,
- der übliche Temperaturbereich für Elastomere von -100 °C bis über die Zersetzungstemperatur des Polymers.

Die Messzeiten pro Versuch sind i.d.R. länger als bei der TGA oder DSC. Die DMA hat ein größeres Probenkammervolumen und einen schlechten Wärmeübergang in die Probe, daher wird mit kleinen Kühl- und Heizraten gefahren. Grob lassen sich zwei Betriebsarten der DMA unterscheiden:

1. Dynamische Messungen bei verschiedenen Frequenzen, Amplituden oder Temperaturen,
2. Kriechversuche unter konstanter Last oder konstanter Verformung bei konstanten oder linear fallenden oder steigenden Temperaturen. Gemessen werden dann bei konstanter Last die entstehenden Verformungen oder bei konstanter Verformung die sich ändernde nötige Kraft.



»22 Ergebniskurven einer DMA-Prüfung bei drei verschiedenen Frequenzen (Speichermodul und  $\tan \delta$ )  
(Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

(-35 °C bei 1 Hz, -26 °C bei 50 Hz). Mit der DMA lässt sich eine Vielzahl an Materialeigenschaften ermitteln, jedoch ist einiges an Fachwissen und Erfahrung notwendig, um die Ergebnisse für den Anwender praxisorientiert deuten und nutzen zu können.

 [DICT!digital: Langversion des Beitrages](#)

 [DICT!digital: Weiterführende Informationen zur DMA](#)

»22 zeigt die DMA-Prüfung eines EPDM-Werkstoffes bei verschiedenen Frequenzen (blau: 1 Hz, rot: 10 Hz, grün: 50 Hz) im Prüfmodus Zugbeanspruchung. Die abfallenden Kurven, links im Diagramm zeigen den Spei-

chermodul. Je höher die Frequenz, desto schneller steigt dieser bei sinkenden Temperaturen an. Die Kurven in der Mitte zeigen den  $\tan \delta$  (Maximum = Glasübergangspunkt). Dieser steigt mit höherer Frequenz

## Chemische-analytische Prüfverfahren – die Werkstoff-DNA finden

aus DICT! 4.2017

### IR: Einfache und schnelle Möglichkeit zur Polymerbestimmung

Die Infrarotspektroskopie (IR) verwendet unsichtbare Infrarotstrahlung, deren Wellenlänge sich zwischen sichtbarem Licht und Mikrowellen befindet. Die Infrarotwellen können nur mit polarisierbaren Bindungen in Wechselwirkung treten und diese zur Schwingung anregen, dadurch kommt es zu Strahlungsabsorptionen, die je nach Wellenlänge unterschiedliche Molekülgruppen anregen. Durch deren Auswertung bekommt man eine Aussage über die Inhaltsstoffe eines Elastomers. Jedoch ist die IR keine Spurenanalytik (Nachweisgrenze 2 bis 5%).

Während früher im Elastomerbereich die dispersive IR zum Einsatz kam, wird inzwischen nur noch die Fourier-Transformations-Infrarot-Spektroskopie (FTIR) angewendet. Mithilfe der Fourier-Transformation der Messwerte bekommt man das gewünschte Spektrum. Dadurch ergeben sich relativ kurze Messzeiten mit stärkeren Signalen.

Elastomerspektren zeigen komplexe Gemische, sodass die Auftrennung nicht immer möglich ist. Jedoch lässt sich die Aussagekraft durch die Koppelung verschiedener Me-

thoden steigern. Da die meisten Elastomere schwarz und somit nicht licht- und infrarotdurchlässig sind, können hier die Pyrolyse-FTIR bzw. FTIR mit ATR (abgeschwächte Totalreflexion) Abhilfe schaffen.

Bei der Pyrolyse-FTIR wird der kondensierte Dampf einer thermisch zersetzten Elastomerprobe analysiert, während bei der ATR-Technik IR-Strahlung durch einen speziellen Kristall (z.B. aus Germanium), der auf der Elastomerprobe aufliegt, hindurchgeht und nur wenige  $\mu\text{m}$  in die Probe eindringt. Die reflektierte Strahlung geht wieder durch den ATR-Kristall hindurch und trifft dann auf den Detektor.

Elastomere bestehen – vereinfacht gesprochen – aus folgenden vier Stoffgruppen: Polymer, Füllstoffe, Weichmacher/Verarbeitungshilfsmittel und Ruß. Die ersten drei Gruppen können im ATR-Spektrum gefunden werden, während im Pyrolysespektrum nur das Polymer und die Weichmacher/Verarbeitungshilfsmittel detektiert werden können.

Über Bibliotheken sind die Wellenzahlen wichtiger Peaks (ausgelöst durch charakteristische funktionelle Gruppen, z.B.  $\text{C}\equiv\text{N}$  Nitrilgruppe bei NBR bei einer Wellenzahl von

$2.235\text{ cm}^{-1}$ ) der gängigen Polymere bekannt, mit welchen eine schnelle Basispolymeridentifikation möglich ist. »23 zeigt ein Beispiel für eine FTIR-Polymeranalyse eines NBR-O-Rings. In der Y-Achse zeigt sich die Intensität der Absorption, in der X-Achse ist aus darstellungstechnischen Gründen die Wellenzahl (=Kehrwert der Wellenlänge) aufgetragen.

Eine große praktische Bedeutung hat auch die Analyse von Extrakten. Über eine Heißextraktion mittels eines Lösemittelgemisches kann man viele wichtige Rezepturbestandteile vom Kautschuk trennen und damit die Rezepturbestandteile wesentlich besser auflösen als bei der ATR-Analyse bzw. der Pyrolyse. Dieses Verfahren wird in der Qualitätssicherung häufig eingesetzt, um unterschiedliche Chargen einer Rezeptur miteinander zu vergleichen. »24 zeigt einen Vergleich zweier Chargen einer NBR-70-Rezeptur mit großen Unterschieden. In der Schadensanalyse lässt sich aus dem Extraktvergleich einer ausgefallenen Dichtung mit einer neuen Dichtung erkennen, welche organischen Stoffe in die Dichtung eindiffundiert sind.

Eine weitere praktische Bedeutung hat die FTIR-Analyse mittels ATR-Technik bei der che-

mischen Charakterisierung von Beschichtungen. So kann z.B. nachgewiesen werden, ob die vom Lieferanten bemusterten O-Ringe mit dem richtigen Gleitlack (z.B. auf PTFE- oder VMQ-Basis) beschichtet sind.

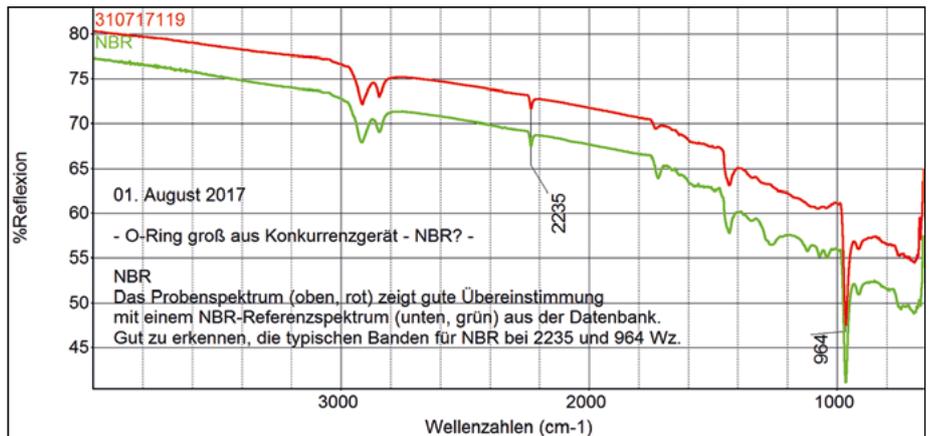
Zusammenfassend ist damit die FTIR-Analyse ein in der Elastomertechnik häufig eingesetztes Analyseverfahren. Für einfache QS-Aufgabenstellungen reichen mithilfe einer guten Software chemische Grundkenntnisse für die Anwendung aus, bei komplexeren Prüfaufgaben (z.B. in der Mischungsentwicklung oder -herstellung oder in der Schadensanalyse) sollte ein solides chemisches Grundwissen des Bedieners vorhanden sein.

### GC-MS: Für den tieferen Einblick in die Elastomerzusammensetzung

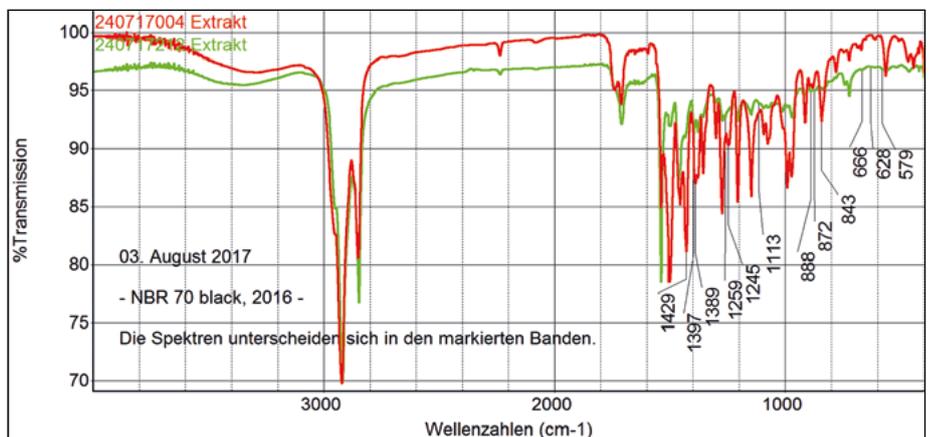
Hierfür kommt die Pyrolyse-Gaschromatographie mit Massenspektrometrikopplung (GC-MS) zum Einsatz. Ein Gaschromatograph (GC) trennt mithilfe von Pyrolyse bzw. Thermodesorption die Komponenten einer Gummimischung auf. Dazu wird die Probe erhitzt, was dann je nach Temperatur zum Ausgasen der flüchtigen Bestandteile führt oder zur Zersetzung (Pyrolyse). Durch eine lange, dünne, beschichtete Säule wandern die einzelnen Komponenten – je nach chemischer Natur – mit einem inerten Gasstrom (Helium, Stickstoff oder Wasserstoff) in unterschiedlicher Geschwindigkeit und kommen so nacheinander am Ende der Säule an. Dort werden die einzelnen Moleküle – weiterhin in der Gasphase – ionisiert und in einem elektrischen Feld gemäß ihrer Masse und Ladung unterschiedlich beschleunigt. Am Ende treffen sie einzeln auf einen Analysator (im Massenspektrometer MS). Die Signale können mit einer Datenbank verglichen und die einzelnen Komponenten identifiziert werden.

Die Nachweisgrenze ist mit  $10^{-10}$ g extrem gering. Besonders in der Schadensanalyse kann es sehr vorteilhaft sein, dass bereits kleinste Probenmengen von ca. 0,3 mg für eine Untersuchung genügen. Wegen der geringen Nachweisgrenze fängt der Einsatzbereich der GC-MS-Analyse in der Elastomertechnik sozusagen da an, wo die FTIR-Analyse aufhört.

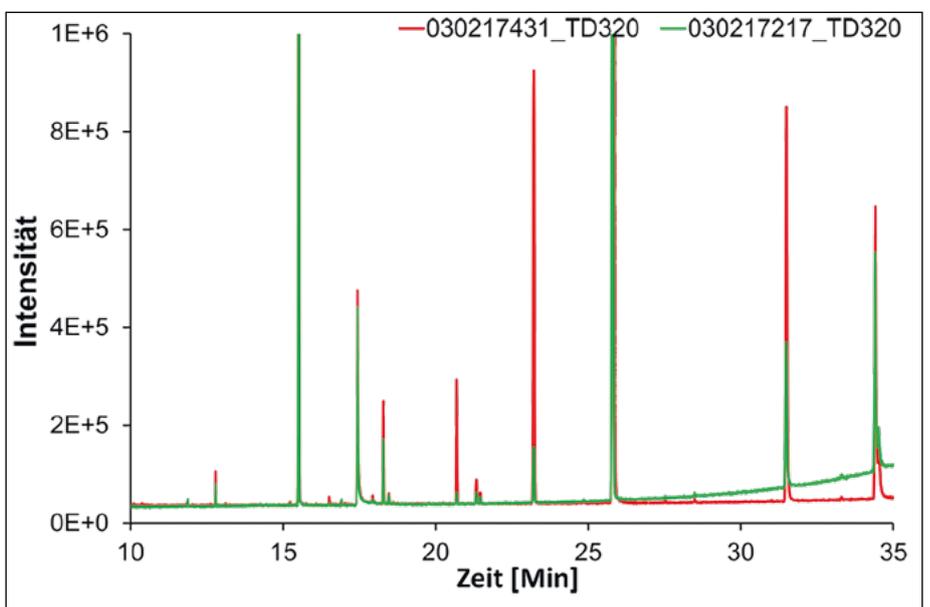
Im Vergleich zu der FTIR-Analyse ist die Auswertung und Interpretation wesentlich aufwändiger und erfordert eine solide chemische Ausbildung. Auch sind die Anschaffungskosten wesentlich höher als für einen FTIR-Analyser. Als Instrument der Qualitätssicherung wird dieses hochauflösende Analyseverfahren in der Elastomertechnik noch relativ wenig genutzt. In kritischen Anwendun-



» 23 FTIR-Polymerbestimmung mittels ATR-Technik (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)



» 24 Extraktvergleich zweier Chargen einer NBR-Rezeptur (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)



» 25 Chromatogramm zweier Chargen eines FKM-Werkstoffes (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

gen oder bei schwer zu erklärenden Schadensfällen kann die GC-MS bei der Problemidentifizierung den entscheidenden Ausschlag geben, da mit ihr bereits kleinste Rezepturunterschiede sichtbar gemacht werden können, die z. B. aus der Verwendung von vergleichbaren Mischungschemikalien verschiedener Lieferanten resultieren können. Das Verfahren kann aber auch die letzten Unsicherheiten bezüglich Chargenschwankungen ausräumen, wo ein diesbezüglicher Verdacht besteht. »25 zeigt einen Chargenvergleich eines FKM-Werkstoffes mit guter Übereinstimmung. Jedes einzelne Signal kann mittels Massenspektrometer einer Chemikalie zugeordnet werden.

Im O-Ring Prüflabor wird die GC-MS-Analyse überwiegend in der Schadensanalyse eingesetzt. Dabei geht es dann i.d.R. darum, zu erkennen, welche Stoffe in die Dichtung eindiffundiert sind und dann ursächlich für den Ausfall waren. Insbesondere Mikroteile reagieren z.B. empfindlich auf Weichmacher, die aus Schläuchen oder anderen Gummiteilen betriebsbedingt extrahiert wurden. Eingeschleppte Verunreinigungen können identifiziert werden. An gequollenen Dichtungen kann der Verursacher wesentlich genauer identifiziert werden als mit der FTIR-Analyse. Und manchmal ist es auch sehr hilfreich, belastbar zu belegen, dass eben kein Fremdeintrag an Stoffen stattgefunden hat und dass

man daher nicht für die Schadensentstehung verantwortlich ist. Der Vorteil der GC-MS-Analyse liegt somit in der höheren Genauigkeit und Auflösung im Vergleich zur FTIR-Analyse, auch kann bei Bedarf eine quantitative Analyse durchgeführt werden.

 [DICHT!digital: Weiterführende Informationen zur Infrarotspektroskopie:](#)

 [DICHT!digital: Weiterführende Informationen zur Pyrolyse GC-MS](#)

## Kleine NBR-Werkstoffkunde für Anwender

### Unterschiede, auf die es ankommt

**Manche Dichtungswerkstoffe haben Besonderheiten im Polymer oder in der Mischung, die nur für sie charakteristisch sind. Meist gibt es dann zwei oder mehr Variationen dieses Parameters und dadurch entstehende Sondereigenschaften des Werkstoffs. In der Praxis können gerade diese kleinen Variationen über eine sichere Funktion einer Dichtung oder deren Totalausfall entscheiden. Fehlt dieses Detailwissen, kann man zwar den „richtigen Werkstoff“ eingekauft haben, aber dennoch damit Schiffbruch erleiden.**

Die Standardprüfungen, wie z.B. Härte, Zugversuch, Druckverformungsrest u.ä. lassen sich an Normprobekörpern aus Prüfplatten von allen elastomeren Dichtungswerkstoffen durchführen. Um aber den Sondereigenschaften auf die Spur zu kommen, werden in vielen Fällen spezielle Prüfmethode notwendig.

#### Der Klassiker – NBR

Acrylnitril-Butadien- (NBR)-Kautschuke zählen zu den ältesten Kunstkautschuken mit einer guten Öl- und Kraftstoffbeständigkeit. Trotz gestiegener Temperatur- und Medienbelastungen kann sich diese Polymerart immer noch im modernen Maschinenbau und der Anwendungstechnik behaupten.

Eines der wichtigsten Merkmale von NBR-Mischung ist ein auf die Anwendung abge-

stimmter ACN-Gehalt. ACN steht für Acrylnitril, ist sein Anteil im Polymer hoch, besitzt das Elastomerprodukt eine gute Öl- und Kohlenwasserstoffbeständigkeit. Außerdem bewirkt ein hoher ACN-Gehalt (max. 50%) eine geringe Kälteflexibilität, was in den meisten Anwendungen weniger erwünscht ist.

Ein NBR mit einem niedrigen ACN-Gehalt (min. 18%) hat hingegen eine gute Kälteflexibilität, aber eine schlechtere Öl- und Kohlenwasserstoffbeständigkeit. Gerade dieses Beispiel zeigt sehr deutlich ein häufiges Dilemma von elastomeren Dichtungswerkstoffen: „Ohne einen guten Kompromiss geht nichts!“

In der praktischen Prüftechnik wird nicht der ACN-Gehalt einer NBR-Mischung direkt bestimmt, sondern man verwendet Prüfmethode, mit welchen man eine indirekte Aussage über den ACN-Gehalt geben kann. Mit Hilfe der „Differential Scanning Calorimetry“ oder besser bekannt unter ihrer Abkürzung DSC, lässt sich die Glasübergangstemperatur ermitteln und so eine Aussage über die Kälteflexibilität des Werkstoffes machen. Letztere kann auch mit Hilfe des TR 10-Testes untersucht werden »26, der in der ASTM D1329 und der ISO 2921 genormt ist. Obwohl diese Prüfung ursprünglich aus den USA stammt, erfreut sie sich in Europa, auf Grund ihrer für den Anwender in der Praxis sehr hilfreichen Aussagen, immer größerer Beliebtheit.

Schließlich lässt sich die Öl- und Kohlenwasserstoffbeständigkeit mit Hilfe von Einlagerungsversuchen ermitteln.

Jedoch gibt es in der Compoundierung auch kleine Kniffe, um die Kälteflexibilität eines NBR zu verbessern. Dies kann durch den Einsatz von Weichmachern realisiert werden. Außerdem wird durch den Weichmacherteil, der in Ölen quellbare Polymeranteil reduziert. Dadurch kann es zu niedrigeren Ölquellungen kommen. Jedoch sollte in der Elastomerprüfung untersucht werden, ob der Weichmacher sich nicht bei der gewünschten Anwendung zu schnell aus dem Compound herauslöst. Dazu werden je nach Anwendung Heißluftlagerungen und/oder Öllagerungen mit extrahierend wirkenden Paraffinölen (z.B. IRM 901) empfohlen.

Eine weitere interessante Besonderheit bei NBR ist die Möglichkeit ihn mit dem Thermoplast PVC zu mischen. Es entstehen dann sogenannte NBR/PVC-Blends. Der Hauptvorteil daran ist, dass man dadurch den von Haus aus gegen Ozonrisse anfälligen NBR-Werkstoff sehr effektiv gegen Ozonangriff schützen kann (bei ausreichendem PVC-Anteil) Mit steigendem PVC-Gehalt verbessert sich gleichzeitig die Ölbeständigkeit. Jedoch verschlechtert der PVC-Anteil die Kälteflexibilität und die Langzeit-Dichtungswirkung (stärkeres Setzverhalten).



»26 TR10-Prüfung im O-Ring Prüflabor Richter  
(Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)



»27 Bestückung eines Ozonprüfschranks im O-Ring Prüflabor Richter  
(Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

Mit Hilfe der Thermogravimetrischen Analyse (TGA) kann man die wichtigsten Mischungsbestandteile einer Rezeptur quantitativ bestimmen. Diese Methode wird u.a auch als PVC-Nachweis (Chlorabspaltung) eingesetzt. Durch die Druckverformungsrestprüfung (DVR) bekommt man eine Aussage über das Setzverhalten bei Langzeit- und/oder Hochtemperaturbelastung und schließlich werden bei der Untersuchung von NBR/PVC-Blends auch Einlagerungsversuche in stark quellenden Medien (z.B. IRM 903) vorgenommen, um die Kohlenwasserstoffbeständigkeit

zu untersuchen. Mit Hilfe einer Ozonprüfung »27 lässt sich die Effektivität des Ozonschutzes nachweisen.

Aus der Analyse von Schadensfällen wird oft ersichtlich, dass es in neuartigen oder besonderen Anwendungen, gerade auf die Details ankommt. Für viele andere Elastomertypen gibt es noch weitere Sondereigenschaften, die in der Fachliteratur näher studiert werden können.

Ein Anwender, der sich der verschiedenen Parameter und deren Auswirkungen bewusst

ist, wird viel zielsicherer einen Dichtungshersteller ansprechen und auch direkter nach aussagekräftigen Prüfergebnissen fragen können. Dadurch lassen sich gerade in der Produktentwicklung Irrwege vermeiden und frühzeitig langfristig funktionierende Dichtsysteme erreichen.



**DICHT!digital:** Weiterführende Informationen zu Werkstoffen

## Autoren



 Dipl.-Ing. Bernhard Richter, Geschäftsführer  
Bernhard.Richter@o-ring-prueflabor.de



 Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Blobner, Consultant  
Ulrich.Blobner@o-ring-prueflabor.de



 Bernd Sprenger, Consultant  
Bernd.Sprenger@o-ring-prueflabor.de

## Weitere Infos:

Diesen Sonderdruck können Sie sich auch als PDF unter folgendem Link downloaden:  
[http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen\\_pruefverfahren\\_sonderausgabe\\_dicht.pdf](http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_pruefverfahren_sonderausgabe_dicht.pdf)

Für mobile Endgeräte können Sie auch den QR-Code nutzen.



### Impressum:

DICHT! Sonderausgabe O-Ring Prüflabor  
Richter ©2018  
O-Ring Prüflabor Richter GmbH,  
Kleinbottwarer Str. 1,  
71723 Großbottwar  
[www.o-ring-prueflabor.de](http://www.o-ring-prueflabor.de)

### Redaktion:

Dipl.-Ing. Holger Best (ViSdP)  
Tel.: +49(0)6 21.71 76 888-7  
[hbest@isgatec.com](mailto:hbest@isgatec.com)

### Herausgeber:

ISGATEC GmbH,  
Am Exerzierplatz 1A,  
68167 Mannheim  
[www.isgatec.com](http://www.isgatec.com)

### Layout:

Petra Greb-Gaß

# Schadensanalyse im O-Ring Prüflabor Richter

Vielleicht kennen Sie das – eine Dichtung, die nur wenige Cent kostet, fällt aus und dadurch kommt eine ganze Maschine oder ein großes Fahrzeug zum Stillstand. Mitunter kommt es sogar zum Totalschaden. Ganz zu schweigen von den manchmal damit verbundenen Gefahren für Leib und Leben der Benutzer dieser Gerätschaften. Es gibt wohl in der Technik wenige so kleine Bauteile, die eine solch große funktionstragende Wirkung haben.

Für das O-Ring Prüflabor Richter ist die Schadensanalyse von elastomeren Dichtungen und technischen Formteilen (z.B. Membranen, Schläuche aus Elastomeren oder TPE) – also nicht nur von O-Ringen – eine seiner Kernkompetenzen.

Seit über 15 Jahren und in über 2000 Fällen konnten durch das Fachwissen und die Erfahrung des O-Ring Prüflabor Richter Probleme – sowohl in der Produktion als auch in der Anwendung von Dichtungen – erkannt und nachhaltig gelöst und abgestellt werden.

 [DICTdigital: Weiterführende Informationen zur Schadensanalyse](#)

## Seminare des O-Ring Prüflabor Richter

Seit vielen Jahren bietet das O-Ring Prüflabor Seminare zu den Themen der elastomeren Dichtungstechnik und Werkstoffkunde an. In diese fließt das über 20 Jahre gesammelte Fachwissen in der Werkstoffprüfung, Kundenberatung und Schadensanalyse ein. Inzwischen werden jährlich neun öffentliche und ca. 20 Inhouse Seminare durchgeführt. Besonders letztere werden sehr genau auf Kundenwünsche und – anforderungen abgestimmt. Die öffentlichen Seminare informieren über folgende Bereiche:

- Elastomere Werkstoffe und Dichtungen
- O-Ring Dichtungen – Auslegung, Einsatzgrenzen und Anwendungen
- Schadensanalyse von elastomeren Dichtungen
- Prüfung von elastomeren Dichtungen – Seminar und Workshop

Im Jahr 2017 wurde erstmals ein Fortgeschrittenenseminar angeboten (Senior Expert Training – Vertiefungsseminar Elastomere & Dichtungen), das sich großen Interesses erfreute.



[DICTdigital: Mehr Infos zu aktuellen Angeboten](#)

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