

FACHWISSEN O-RINGE

Ein Angebot des

O RING
PRÜFLABOR
RICHTER

PRÜFEN BERATEN ENTWICKELN

Quelle: www.o-ring-prueflabor.de
Stand der Information: 08/2018

Qualitätssicherung an O-Ringen – Wie geht das?

Wichtige Hinweise zur Theorie und Praxis von Härte-
und Druckverformungsrestprüfungen an O-Ringen
(Langversion)

Auf der Webseite des O-Ring Prüflabor Richter existiert auch eine Kurzversion dieses Artikels, welche dem Leser einen schnelleren allgemeinen Überblick über die Thematik ermöglicht. Allerdings bietet diese Kurzversion weniger Hintergrundinformationen zum tieferen Verständnis der beschriebenen Prüfmethoden.

Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Blobner

Dipl.-Ing. Bernhard Richter

Der O-Ring, früher auch als Schnurring, Rundring oder Nullring bezeichnet, ist ein Dichtelement, das aus der heutigen Technik nicht mehr wegzudenken ist.

Dieses Dichtelement ist fast so alt wie die 1845 patentierte Kautschukvulkanisation. Bereits im Jahr 1848 wurde dem Briten Alonzo Buonaparte Woodcock ein Patent für einen O-Ring in einer dynamischen Anwendung erteilt.¹ Jedoch dauerte es noch fast 100 Jahre bis der O-Ring seinen Siegeszug in der Technik auf breiter Ebene antreten konnte. Erst die Versuche und Patente zu dynamischen O-Ring Anwendungen des dänischstämmigen US-Amerikaners

¹ GB-Patent No. 12,253 vom 22. Februar 1848, Erfinder: Alonzo B. Woodcock: Steam Engines, and Apparatus for Raising and Forcing Water, &c.

Niels Christensen^{2 3 4} und die immer weiter fortschreitende Präzision und Qualitätssteigerung in der O-Ring Produktion und die Einführung vielfältiger, synthetischer Gummiwerkstoffe verhalfen ihm zu seinem Erfolg, der bis zum heutigen Tage anhält.

Für den Anwender von O-Ringen stellt sich die Frage, wie er mit vertretbarem Aufwand die Qualität dieser unscheinbaren Dichtelemente prüfen und sicherstellen kann.

Ein bedeutender Vorteil von O-Ringen ist, dass sich an ihnen viele wichtige physikalische Prüfmethode direkt durchführen lassen, wie z.B. die Härte- und Druckverformungsrestprüfung oder aber auch Zugversuche an neuen und thermisch gealterten oder in Medien eingelagerten O-Ring Dichtungen.

Mit der ISO 3601-5 (2015-04-01)⁵ steht zum ersten Mal dem Anwender eine international gültige Norm zur Verfügung, die für verschiedene Elastomermaterialien, sowohl an Prüfplatten als auch – und das ist das Besondere – am fertigen Erzeugnis O-Ring, Materialeigenschaften spezifiziert, die einem guten Stand der Technik entsprechen.

Im Folgenden sollen die bei Anwendern sehr häufig durchgeführten Prüfmethode zur Härte und zum Druckverformungsrest (DVR) näher betrachtet werden.



1. Was ist die übliche Prüfpraxis?

Da in vielen Betrieben auf Grund internationaler Beschaffung und des immensen Preisdrucks die Lieferanten-Kunden-Beziehungen instabiler werden und auch die Toleranz der Endkunden bei Dichtungsausfällen immer geringer wird, sind Anwender gut beraten, O-Ringe und natürlich auch andere Dichtungen sinnvoll zu spezifizieren und die Einhaltung der Vorgaben im Rahmen von Qualifikations- und Wareneingangsprüfungen auch angemessen abzusichern.

Viele Betriebe führen wenigstens eine vereinfachte Identitätsprüfung durch, welche die Dichtprüfung (Absicherung gegen mögl. Materialverwechslung) und die Härteprüfung umfasst. Zusätzlich zu Druckverformungsrestprüfungen können Zugversuche oder auch Kurzzeiteinlagerungen und Quellungen an O-Ringen als Qualifikationsprüfung Sinn machen.

In Betrieben mit einer hochwertigen Laborausstattung werden auch infrarotspektroskopische Untersuchungen und DSC-Messungen zur Überprüfung der Glasübergangstemperatur als Qualifikations- und Identitätsprüfungen eingesetzt.

Da Wareneingangsprüfungen ja auch Kosten verursachen, sollte der Prüfumfang und die Prüfhäufigkeit auch davon abhängig gemacht werden, wie kritisch denn die betreffenden Anwendungen sind, das heißt, welchen Schaden ein fehlerhaftes O-Ring-Los auslösen würde, und wie schwierig der Herstellungsprozess ist (siehe unten), das heißt, wie hoch die Wahrscheinlichkeit für kritische Qualitätsabweichungen ist. Lieferantenbezogene statistische Auswertungen über Qualitätsabweichungen können zusätzlich helfen, sinnvolle Prüfintervalle festzulegen.

² US-Patent No. 2,115,383 vom 26. April 1938, Erfinder: Niels Christensen: Hydraulic Brake

³ US-Patent No. 2,180,795 vom 21. November 1939, Erfinder: Niels Christensen: Packing

⁴ US-Patent No. 2,394,364 vom 5. Februar 1946 Erfinder: Niels Christensen: Pressure Seal

⁵ ISO 3601-5, Second Edition 2015-04-01: Fluid power systems — O-rings — Part 5: Suitability of elastomeric materials for industrial applications

2. Was sagen wichtige Normen zur O-Ring Prüfung?

In der Regel beziehen sich Prüfnormen mit Prüfvorschriften auf Normprobekörper, welche aus Prüfplatten hergestellt werden, um Werkstoffkennwerte möglichst gut reproduzierbar zu ermitteln. Jeder Dichtungsproduzent achtet bei der Herstellung von Prüfplatten auf höchste Qualität, damit die besten Mischungseigenschaften gemessen werden können. Fertigteile werden jedoch anders vulkanisiert und deren Vernetzungsgrad ist durch Datenblätter nicht definiert bzw. nicht verbindlich abgesichert.

Wegweisend für die Fertigteilprüfung an O-Ringen war die Normung im „O-Ring-Land“ USA. Bereits im Jahr 1956 erschien die erste Ausgabe der **ASTM D 1414** (aktuelle Ausgabe 2015). Darin ist beschrieben, wie man Zugversuche, Härte- und Dichteprüfungen, Medieninlagerungen, Alterungen, und Druckverformungsreste an O-Ringen durchführen soll, Sollwerte werden darin jedoch nicht vorgegeben.

Die **ISO 3601-5** (2015-04) (*Suitability of elastomeric materials for industrial applications*) legt den Fokus nicht auf die Prüfmethode, sondern auf Werkstoffe für O-Ringe und deren Eignung für Industrieanwendungen. Bei den Prüfmethode zur Überprüfung der in dieser Norm geforderten Sollwerte, wird auf die oben beschriebene ASTM D 1414 und andere Standardnormen wie z.B. die ISO 48 (Härte) oder die ISO 815-1 (DVR) verwiesen.

3. Mögliche Ursachen für schlechte und/oder schwankende Qualitäten bei O-Ringen

Je nach Polymertyp können unterschiedliche Vernetzungssysteme eingesetzt werden, welche unterschiedliche Ansprüche an die Prozessführung in der Produktion stellen. So können Schwankungen im Vernetzungsgrad von schwefelvernetzten Werkstoffen (z.B. NBR, EPDM, CR) durch ein anschließendes Tempern ausgeglichen werden, bei peroxidisch vernetzten NBR-, HNBR- und EPDM-Werkstoffen dagegen nicht bzw. nur sehr eingeschränkt, weil diese nicht ausreichend temperaturbeständig für eine effektive Nachvulkanisation durch Tempern sind.

Außerdem gibt es **NBR**-Qualitäten im Härtebereich von 70 ShA mit bis zu 20 Gew.-% Weichmachern. Solche Typen neigen dazu in der Anwendung zu schrumpfen, da der Weichmacher bspw. durch Hydraulik- oder paraffinisches Öl ausgewaschen werden kann.

Während NBR-Elastomere bei O-Ringen überwiegend schwefelvernetzt sind, findet man bei **EPDM**-Werkstoffen überwiegend ein peroxidisches Vernetzungssystem, weil eine Schwefelvernetzung die Gebrauchstemperatur von EPDM-O-Ringen erheblich einschränkt. Da man EPDM sehr gut mit mineralischen Weichmachern anquellen kann, und sogar bereits bis zu 50% ölgestreckte EPDM-Polymerarten bezogen werden können, kann eine fertige Mischung mit so einem Polymer bis zu 30 Gew.-% Weichmacher enthalten und das bei 70 ShA. Solche Compounds zeigen ein hohes Langzeitsetzverhalten (erkennbar über DVR) und sie können auch schrumpfen, da das Öl bspw. durch Silikonöl (z.B. in Sanitäranwendungen) oder Heißwasser herausgelöst werden kann und wärmebedingt ausgast. Hinzu kommt, dass eine Mischung mit einem hohen Weichmacheranteil in Kombination mit Peroxiden schwieri-

ger zu vulkanisieren ist, da die Wirkung der Peroxide teilweise durch Weichmacher neutralisiert wird. Außerdem kann bei peroxidisch vernetztem EPDM ein unzureichender Vulkanisationsgrad wie beim NBR nicht durch Nachtempern verbessert werden, siehe oben. Die Vulkanisation muss also vollständig im Werkzeug während der Verarbeitung erfolgen. Wird nun die Zykluszeit aus wirtschaftlichen Gründen reduziert, kann dies teuer mit hohen Qualitätseinbußen bezahlt werden. Eine unzureichende Vernetzung lässt sich sehr gut mit einer DVR-Prüfung nachweisen. Damit geht es bei DVR-Prüfungen an O-Ringen nicht primär darin, den Werkstoffkennwert der Rezeptur wiederzufinden, sondern den Fertigungsprozess beim Lieferanten zu beurteilen. Hilfreiche Richtwerte für O-Ringe aus peroxidisch vernetztem EPDM finden sich in den Forderungen der ISO 3601-5, die in ihren Sollwertvorgaben auch nach den Vernetzungssystemen unterscheidet.

Fluorkautschuke (**FKM**) werden meist bisphenolisch vernetzt. Bezüglich des Vernetzungsgrades treten hier kaum Probleme auf. Außerdem ist bei FKM-Compounds die Rezepturgegestaltung deutlich einfacher (z.B. keine Verwendung von Weichmachern), so dass die Anwendung dieses Werkstoffes deutlich unkritischer ist als bei EPDM ist. Allerdings sei darauf hingewiesen, dass es bei hohen physikalischen Beanspruchungen, beispielsweise in Form von hohen Drücken oder einer abrasiven Beanspruchung, sehr wohl auf rezeptur- und verarbeitungsbedingte Unterschiede ankommen kann, ebenso auch beim Langzeitverhalten bei hohen Temperaturen.

Bei Silikonen (**VMQ**) gibt es öfter Qualitätsprobleme durch Härteschwankungen. Diese können durch Nachbearbeitungen von O-Ringen (Mullins-Effekt) ausgelöst werden. Hier ist im Einzelfall zu prüfen, ob sich dies für die Anwendung negativ auswirken kann. Ansonsten gehören VMQ-Werkstoff eher zu den weniger kritischen Elastomeren bei O-Ringen.

4. Härteprüfung an O-Ringen

Elastomerwerkstoffe werden in der Regel in 5er Shore A-Härteschritten klassifiziert und vertrieben. Die Shore A Härte (ISO 7619-1, ISO 868, ASTM D2240) als Werkstoffkennwert bezieht sich auf Prüfplatten, vorzugsweise mit einer Dicke von 6 mm. Soll dagegen die Härte direkt an O-Ringen definiert werden, bedarf dies einer zusätzlichen Prüfanforderung bzw. Sollwertvorgabe. Erfahrungsgemäß kann bei O-Ringen ab einer Schnurstärke von ca. 3 mm der Werkstoffkennwert der Rezeptur als Sollwert (+/-5) angesetzt werden. Üblich an O-Ringen ist allerdings die IRHD-Mikro Härte nach ISO 48 (Unterverfahren **CM** („*Curved surface*“ (= *gekrümmte Oberfläche*), „*Micro*“(-*Indentor*)). Dieses Härteprüfverfahren ist auf das Shore A-Verfahren so abgestimmt, dass der Sollwert der Härte des Werkstoffes für O-Ringe ab einer Schnurstärke von 1,6 mm auch als IRHD-CM- Sollwert (+/-5) angesetzt werden kann. Für kleinere Schnurstärken ist es üblich (ISO 3601-5), den Sollwerttoleranzbereich auf +5/-8 IRHD, CM-Härtegrade zu erweitern. Die Härteprüfung ist bei vielen Anwendern neben einer optischen und Maßkontrolle die einzige Materialprüfung, die durchgeführt wird. Dementsprechend hoch wird dieser Parameter bewertet bzw. überbewertet. Außerdem werden der Härteprüfung Aussagen zugeschrieben, die sie nicht bzw. nur unzureichend leisten kann: So kann die Härtemessung z.B. nur vage Informationen über den Vernetzungsgrad einer Dichtung geben.

Die Härte gibt eine Orientierung für das Verformungsverhalten von Elastomeren, ihre Fähigkeit Unebenheiten in der Dichtfläche auszugleichen bzw. einer Spaltextrusion standzuhalten. Über die Steifheit des Materials sagt die Härte wenig aus.

Die Messmittelfähigkeit der Härteprüfung wird oft überschätzt. Im Vergleich mit anderen physikalischen Elastomerprüfverfahren schneidet sie deutlich schlechter ab. Hinzu kommt, dass die digitalen Anzeigen von Härteprüfgeräten dazu verleiten die Härtewerte mit Nachkommastellen anzugeben. Dies ist jedoch nicht sinnvoll.

„Oft wird die Härte auch an vorgealterten Proben gemessen, z.B. nach Heißluftkontakt. Da die Heißluftalterung zuerst und auch am stärksten in den äußeren Schichten eines Elastomers in Erscheinung tritt, ist die Messung der Härte ein gutes Mittel um kleine Änderungen in den Randschichten aufzuzeigen. Allerdings wird hier die IRHD,M – Prüfmethode auf Grund der geringeren Eindringtiefe und höheren Präzision der ShA – Prüfmethode vorzuziehen sein.“⁶

4.1 Wissenswerte Einflussfaktoren auf die Härteprüfung von O-Ringen

Bei der IRHD Mikrohärteprüfung dringt eine Kugel (= Indentor) mit einem Durchmesser von 0,4mm mit einem definierten Gewicht in den Probekörper ein. Die Eindringtiefe ist ein Maß für die Härte. Der Indentor sollte mit dem höchsten Punkt des O-Ring Querschnittes in Kontakt kommen. Durch die gekrümmte Oberfläche kann die Kugel des Indentors leichter als bei einer ebenen oder konkaven Fläche eindringen, da sie weniger Material verdrängen muss. Da eine große Eindringtiefe einen weichen Werkstoff darstellt, zeigen O-Ringe eine geringere Härte als vergleichbare Prüfplatten, sie sind also scheinbar weicher.

Diesem Problem nimmt sich auch die DIN ISO 48 an, in dem sie eigene Verfahrensbezeichnungen für die Messung von gekrümmten Oberflächen einführt und von „scheinbaren Härten“ spricht, „da diese Prüfungen gewöhnlich an vollständigen Fertigteilen durchgeführt werden, bei denen die Elastomerdicke variieren kann und die seitlichen Abmessungen es in vielen Fällen möglicherweise nicht gestatten, den Mindestabstand zwischen Eindringkörper und der Seitenkante zwecks Ausschalten von Kanteneffekten einzuhalten. Daher stimmen die so erhaltenen Ergebnisse im Allgemeinen nicht mit denjenigen überein, die an genormten Probekörpern, wie in den Verfahren N, H, L oder M festgelegt, erzielt werden (...).“⁷. Für O-Ringe wird in der Regel das Unterverfahren **CM** verwendet. Deswegen ist es sehr wichtig mit dem Lieferanten nicht nur einen Härtewert an Prüfplatten, sondern auch an den fertigen O-Ringen, festzulegen.

In der Literatur finden sich Formeln zur Abschätzung der realen Härte^{8 9}, die ein tieferes Verständnis der Problematik ermöglichen und zur Orientierung dienen können, aber für den Praktiker in der Anwendung wenig von Bedeutung sind.

⁶ BLOBNER, U.: Fachwissen Prüfverfahren für Elastomere: 1915 – 2015: 100 Jahre Shore A – Härteprüfung Ein historischer Rückblick auf Entwicklung und Forschung zur Shore A – Messmethode mit Bezug zur heutigen Prüfpraxis, Internetveröffentlichung, 12/2015, S.35 (http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen-100_-jahre_-shorea-12_2015.pdf), S.37

⁷ DIN ISO 48: Elastomere oder thermoplastische Elastomere – Bestimmung der Härte (Härte zwischen 10 IRHD und 100 IRHD) (ISO 48:2010), Ausgabe September 2016, S. 8

⁸ ACHENBACH, M. und STREIT, G.: Härtemessungen an O-Ringen – Abhängigkeit der Härte von der Schnurstärke und dem Innendurchmesser in: KGK, 42. Jg., Nr. 10, 1989, S. 892-897

⁹ PARKER HANNIFIN GmbH: Dichtungshandbuch, Bietigheim-Bissingen, 1999, S.61

Damit exakt und reproduzierbar jeweils am obersten Punkt der O-Ring Querschnittes gemessen wird, sollte v.a. bei kleinen Schnurstärken (z.B. < 2,62 mm) eine Zentriereinrichtung oder besser noch ein lasergeführter Tisch (siehe Abb. 1 und 2) verwendet werden.



Abb. 1: Stationäres IRHD-Mikro-Prüfgerät mit einem lasergeführten Tisch zur exakten Härtemessung von O-Ringen (Verfahren CM)

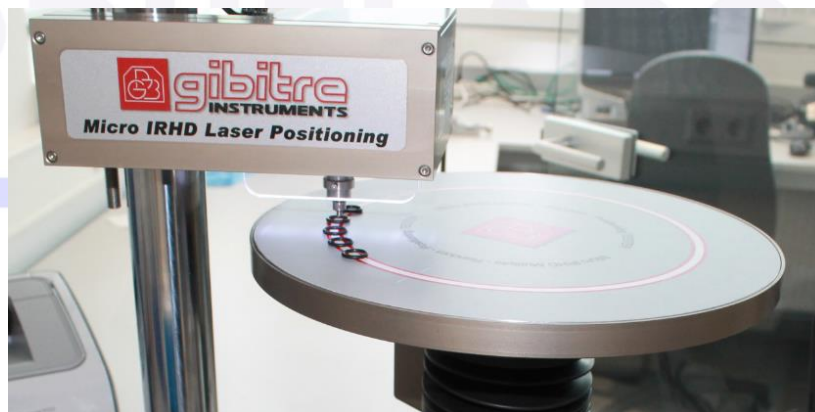


Abb. 2: Lasergeführter drehbarer Zentriertisch zur automatisierten IRHD, CM – Messung einer größeren Anzahl von O-Ringen

Ein wichtiger Pluspunkt für die Präzision des IRHD-Verfahrens ist, dass es diese Prüfgeräte nur als Standgeräte gibt und nicht, dass wie bei der Shore A Messung Tischgeräte und parallel dazu analoge Handgeräte existieren. Bei letzteren ist ein großer Einfluss des Bedieners möglich.

Außerdem sollte die Prüftemperatur (23°C) innerhalb der vorgeschriebenen Toleranz ($\pm 2\text{K}$) liegen, da Elastomere ein stark temperaturabhängiges Verhalten zeigen.

Der Vollständigkeit halber seien noch drei weitere Einflussfaktoren erwähnt, die aber in betrieblichen Prüfpraxis vernachlässigt werden können:

Durch eine Nachbearbeitung von O-Ringen kann es zu leichten Härteabweichungen kommen. So „können Oberflächen, die abgeschliffen oder anderweitig präpariert wurden (...) zu Härtewerten führen, die von denen leicht abweichen, die an Oberflächen mit einer glatten Vulkanisierhaut erzielt werden.“¹⁰ (vgl. Mullins-Effekt bei VMQ)

Durch Beschichtungen eines O-Ringes kommt es zu einer Reibungsreduktion und einem erleichterten Eindringen des Indentors, was das Prüfergebnis minimal verändern kann.

„Bei bestimmten Kunststoffen, wie bspw. Polyamid, ist der gravierende Einfluss des Feuchtegehaltes auf verschiedene Werkstoffeigenschaften, wie u.a. auch auf die Zugfestigkeit oder die Härte allgemein bekannt. Bei Elastomeren gibt es ähnliche Effekte, jedoch schwächer ausgeprägt als bei Polyamid. Hervorzuheben seien hier meist farbige Mischungen mit hydrophilen und mineralischen Füllstoffen, wie z.B. diverse FKM Compounds. Durch eine Vortrocknung über wenige Stunden zeigen sich teilweise erhebliche Festigkeitsunterschiede im Zugversuch.“¹¹ Für die Härte ist dieser Einfluss geringer und geht in der zufälligen Messunsicherheit unter.“¹²

Die in der ISO 48 beschriebenen möglichen Abweichungen von bis zu 10 IRHD Graden zwischen Fertigteilen und der Normalhärte¹³ entspricht nicht den Erfahrungen unserer langjährigen Prüfpraxis!

Die Messung der Härte an O-Ringen ist empfehlenswert, sollte aber mit anderen Verfahren kombiniert werden, wie z.B. Dichte- und DVR-Prüfung, nur so lassen sich gesicherte Aussagen zu einer Rezepturidentifikation und zur Qualität eines O-Rings treffen.

5. Druckverformungsrestprüfung an O-Ringen

In der ISO 3601-5 wird als für den DVR anzuwendende Prüfmethode die ISO 815-1 (Methode A) gefordert. Da aber die ISO 815-1 sich ausschließlich mit der Prüfung an Normprobekörpern befasst, soll an dieser Stelle u.a. auf die Besonderheiten der DVR-Prüfung an O-Ringen eingegangen werden.

In der Druckverformungsrestprüfung (DVR) wird ein Elastomerbauteil in der Regel um 25% verpresst und dann bei einer erhöhten Temperatur gelagert, typische Prüfzeiten liegen bei 24² und 72² Stunden. Nach der Entnahme aus dem Ofen und der Aufhebung der Verpressung wird die Höhendifferenz des Bauteils aus der Messung vor und nach der Prüfung ermit-

¹⁰ DIN ISO 48: Elastomere oder thermoplastische Elastomere – Bestimmung der Härte (Härte zwischen 10 IRHD und 100 IRHD) (ISO 48:2010), Ausgabe September 2016, S. 8

¹¹ BLOBNER, U. und RICHTER, B.: Fachwissen Prüfverfahren für Elastomere: Zugversuch - Prüftechnische Grundlagen und Empfehlungen für die praktische Anwendung, Internetveröffentlichung, 10/2014, S.23 (http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen-zugversuch_10_2014.pdf)

¹² BLOBNER, U.: Fachwissen Prüfverfahren für Elastomere: 1915 – 2015: 100 Jahre Shore A – Härteprüfung Ein historischer Rückblick auf Entwicklung und Forschung zur Shore A – Messmethode mit Bezug zur heutigen Prüfpraxis, Internetveröffentlichung, 12/2015, S.35 (http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen-100_-jahre_-shorea-12_2015.pdf)

¹³ DIN ISO 48: Elastomere oder thermoplastische Elastomere – Bestimmung der Härte (Härte zwischen 10 IRHD und 100 IRHD) (ISO 48:2010), Ausgabe September 2016, S. 8: „Deshalb sind die erzielten Ergebnisse an gekrümmten Oberflächen zufällige Werte, die nur für Probekörper oder Fertigteile gelten, die eine ganz bestimmte Form und bestimmte Abmessungen haben und die auf eine ganz bestimmte Weise gehalten werden. In Extremfällen können die Werte bis 10 IRHD von der Normalhärte abweichen.“

telt und in Beziehung zur Verformungshöhe gesetzt. Je mehr sich eine Dichtung „gesetzt“ hat, umso höher und damit schlechter ist das DVR-Ergebnis [%] dieser Dichtung.



Abb.3: DVR-Prüfwerkzeuge mit unterschiedlich tief eingeschliffener Grundplatte (siehe untere Platte), der Einsatz von Abstandshaltern entfällt



Abb. 4: Plane Platten zur DVR-Messung mit Distanzstücken: Auf der Basisplatte befinden sich drei O-Ring Abschnitte, die sich durch die unterschiedlichen Längen identifizieren lassen. Durch die runde Werkzeugform ist auch eine Einlagerung in flüssigen Medien im Becherglas möglich.

„Die größte praktische Bedeutung der Druckverformungsrestprüfung liegt in der Fertigteilprüfung, ganz besonders bei O-Ringen (siehe Abb.4). Dabei geht es nicht darum, den rezepturspezifischen Kennwert zu ermitteln wie er in Werkstoffdatenblättern zu finden ist, sondern eine Aussage über den Vulkanisationsgrad des Fertigteilens geben zu können.“¹⁴

Jedoch gibt der DVR kaum eine Aussage über die viskoelastischen Eigenschaften des Werkstoffs. Liegt der DVR-Wert nicht mehr als 10-30% über dem rezepturspezifischen Kennwert für 24⁻² h (Prüftemperatur = zulässige 1000h-Dauer-temperatur), kann man noch

¹⁴ BLOBNER, U. und RICHTER, B.: Druckverformungsrestprüfung (DVR-Prüfung): - Prüftechnische Grundlagen und Empfehlungen für die praktische Anwendung, Internetveröffentlichung, 06/2015, S.4 (http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_druckverformungsrestpruefung_06_2015.pdf.pdf)

von einem akzeptablen Vulkanisationsgrad ausgehen. Orientierungswerte für eine Fertigteilspezifikation (allgemeiner Industriestandard bzw. guter Stand der Technik) finden sich in der ISO-Norm 3601-5¹⁵ (2015-04-01).¹⁶

Ein zum DVR an O-Ringen konkurrierendes Prüfverfahren ist die Zugverformungsrestprüfung (ZVR). Dabei werden O-Ringe über einen Dorn gespannt und dann bei Temperatur über einen bestimmten Zeitraum gelagert. Nach der Entnahme aus dem Ofen und der Aufnahme der Dehnung wird die Längendifferenz des Bauteils aus der Messung vor und nach der Prüfung ermittelt und in Beziehung zur verformten Länge gesetzt.

Die ZVR-Prüfung findet fast ausschließlich an Fertigteilen (v.a. O-Ringen) statt. Besonders bei kleinen Schnurstärken liefert diese Prüfmethode eine geringere Messunsicherheit als der DVR. Außerdem ist das Prüfwerkzeug (Dorn) für den ZVR leichter herzustellen als planparallele Platten für das DVR-Prüfverfahren. Nachteilig ist, dass für die Rückmessung nach der Prüfung eine berührungslos arbeitende Messmaschine notwendig ist, um exakte Ergebnisse zu bekommen. Diese ist in kleineren Betrieben nicht immer vorhanden. Die DVR-Prüfung braucht für die Rückmessung nur ein einfaches Höhenmessgerät.

Im neuen Industriestandard ISO 3601-5 werden nur DVR- und keine ZVR-Werte gefordert. Beide Verfahren liefern ähnliche Ergebnissen

5.1 Wissenswerte Einflussfaktoren auf die DVR-Prüfung von O-Ringen¹⁷

Einen wichtigen Einfluss auf das DVR-Ergebnis hat die Schnurstärke von O-Ringen.

Bei einer guten Verarbeitung, also Vulkanisation, ist dies jedoch beim Kurzzeittest (22⁺²h) kaum zu erkennen (siehe Tab. 1, NBR-Rezeptur 1), sofern die Prüftemperatur nicht höher als die zulässige Langzeittemperatur des Werkstoffes (1000h-Kriterium) ist. Bei längeren Prüfzeiten (70h) zeigt sich jedoch eine Tendenz zu besseren, also niedrigeren DVR-Werten, hier nimmt der Geometrieinfluss zu, sofern die Prüfung bei der Langzeittemperatur oder höher stattfindet.

Bei der schlechter verarbeiteten Rezeptur 2 weist der O-Ring mit der kleinsten Schnurstärke nach 22⁺²h den besten DVR-Wert auf. Folglich ist er auf Grund seines geringeren Volumens besser vulkanisiert gewesen als seine beiden dickeren O-Ringe. Bei den 70h Ergebnissen zeigt sich wieder mehr der Geometrieinfluss, die starken Verarbeitungseinflüsse sind hier nicht mehr richtig zu erkennen.

Tausende im O-Ring Prüflabor Richter durchgeführte DVR-Prüfungen haben gezeigt, dass bei 24h Prüfzeit und bei einer angemessenen Prüftemperatur (= zulässige Dauertemperatur) der Einfluss der Schnurstärke nicht größer ist als andere zufällige Einflüsse (Messunsicher-

¹⁵ ISO 3601-5, Second Edition 2015-04-01: Fluid power systems — O-rings — Part 5: Suitability of elastomeric materials for industrial applications, S. 3, Table 2: O-ring requirements

In der ISO 3601-5 (Second Edition 2015-04-01) kam es auf Seite 3 beim Layout zu einer fehlerhaften Verschiebung in „Table 2“. In der zweiten Zeile wurden die Härtewerte falschen Basispolymeren zugeordnet. Richtigerweise gehören zu FKM die Härteklassen (IRHD) 70, 75, 80, 90, zu VMQ nur 70, zu EPDM-S 70 und 80, zu EPDM-P ebenfalls 70 und 80 und zu ACM nur 70. In den darunterliegenden Zeilen kam es zu keinen Verschiebungen, so dass nach Korrektur der Zuordnung die Tabelle dennoch verwendet werden kann. Der Fehler wird in Bälde korrigiert.

¹⁶ BLOBNER, U. und RICHTER, B.: Druckverformungsrestprüfung (DVR-Prüfung): - Prüftechnische Grundlagen und Empfehlungen für die praktische Anwendung, Internetveröffentlichung, 06/2015, S.4 (http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_druckverformungsrestpruefung_06_2015.pdf.pdf)

¹⁷ Ausführliche Informationen zu den Einflussfaktoren: Siehe: Ebd., S. 15-21 (http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_druckverformungsrestpruefung_06_2015.pdf.pdf)

heit bei der Höhenmessung, Planizität der Prüfwerkzeugplatten (siehe Abb. 3), Temperatur- und Zeitschwankungen).

	NBR (Rezeptur 1)			NBR (Rezeptur 2)		
Schnurstärke [mm]	1,78	3,53	6,99	1,78	3,53	6,99
DVR nach 22+2h, bei 100°C [%]	10	13	9	11	16	18
DVR nach 70+2h, bei 100°C [%]	24	23	17	24	24	29

Tab. 1: Einfluss der Schnurstärke auf den DVR (Quelle: O-Ring Prüflabor Richter)

Bei der DVR-Prüfung sollten O-Ringe möglichst mit 25% verpresst werden, so ist eine Vergleichbarkeit mit anderen DVR-Prüfungen besser gegeben. Bei höheren Verpressungen (bis ca. 40%) verbessert sich in der Regel der DVR-Wert, bei niedrigeren Verpressungen verschlechtert er sich.

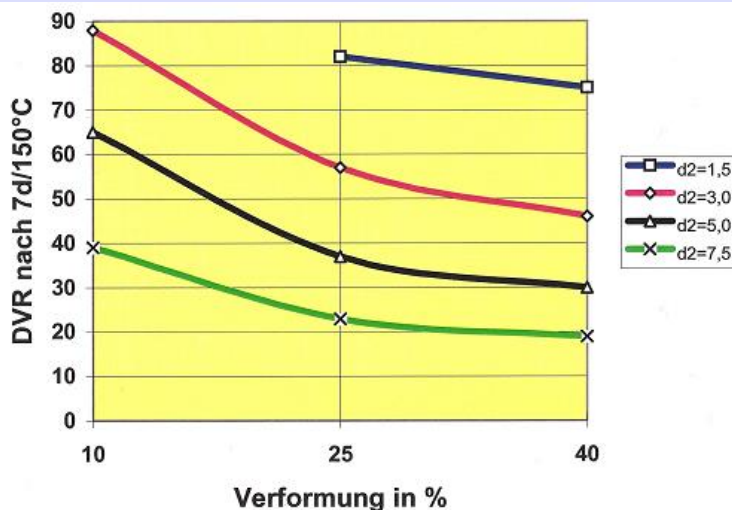


Abb. 5: Einfluss der Verformung / Verpressung und der Schnurstärke auf den DVR von O-Ringen, ermittelt an einer HNBR Musterrezeptur, DVR-Ergebnisse nach 7 Tagen (= 168h) bei 150°C¹⁸

Großen Einfluss auf das Ergebnis hat auch die Entspannungstemperatur der Probekörper nach der Entnahme aus dem Ofen. Die ISO 815-1 bietet hier die drei Verfahren an, A, B und C, wobei die ersten beiden am häufigsten in der Praxis vorkommen. Beim Verfahren A, welches auch in der ISO 3601-5 gefordert wird, wird sofort nach Entnahme aus dem Ofen entspannt, was allein den Einfluss der Alterung zeigt, während beim Verfahren B nach der Ofenentnahme erst im verspannten Zustand auf Raumtemperatur abgekühlt wird Und zusätzlich eine reversible bleibende Verformung (physikalische Relaxation) enthält. Letzteres Verfahren bildet eher die Anwendung ab, Verfahren A zeigt dagegen direkt die Qualität der Vulkanisation an. In Wareneingangsprüfungen kommt daher meist das Verfahren A zum Einsatz.

¹⁸ MAGG, H., Bayer AG, Seminar „O-Ring in Kraftfahrzeugen“ am 07.10.1997 im Haus der Technik, Essen

Wie bereits bei den geometriebedingten Einflüssen angedeutet, übt die Verarbeitung einen bedeutenden Einfluss auf die DVR-Ergebnisse aus.

„Die folgende Verarbeitungsstudie (Tab. 2 und 3)¹⁹, die an peroxidisch vernetzten HNBR-O-Ringen ermittelt wurde, zeigt einerseits die hohe Empfindlichkeit des DVR-Wertes gegenüber zu niedrigen Werkzeugtemperaturen (Tab. 2), andererseits belegen diese Diagramme, dass eine starke Untervernetzung von O-Ringen (T = 170 °C) nicht über eine Härtemessung nachgewiesen werden kann (Tab. 3), da die fertigungsbedingten Streuungen der Härtewerte fast durchweg innerhalb einer Bandbreite von 10 Härtepunkten liegen. Die Auflösung bzw. Empfindlichkeit der DVR-Messung ist hier viel höher als die der Härteprüfung. Besonders deutlich wird dies bei Betrachtung und Vergleich der Werte bei einer Werkzeugtemperatur von 170°C. Betrachtet man nur die Härtewerte, ist ein klarer Anstieg zu erkennen. Auf den ersten Blick könnte man davon ausgehen, dass dies ein Zeichen für den sich verbessernden Vernetzungsgrad ist. Vergleicht man aber die DVR-Ergebnisse bei 170°C muss man erstaunt feststellen, dass bei allen drei Zykluszeiten DVR-Werte von 100% oder größer erreicht werden, ein Zeichen einer klaren Untervulkanisation, die in der Praxis zu einem deutlich verfrühten Ausfall führen würde.

Werkzeugtemperatur	DVR nach Zykluszeit 60sec.	DVR nach Zykluszeit 120 sec.	DVR nach Zykluszeit 180 sec.
170°C	108%	103%	100%
190°C	95%	75%	47%
210°C	39%	35%	30%

Tab. 2: Einfluss der Verarbeitungsparameter auf den Druckverformungsrest (24h bei 150°C) an einem HNBR O-Ring mit den Abmessungen 19,3mm x 2,4mm (Quelle der Daten: Parker Hannifin GmbH)

Werkzeugtemperatur	Härte nach Zykluszeit 60sec.	Härte nach Zykluszeit 120 sec.	Härte nach Zykluszeit 180 sec.
170°C	58 IRHD	63 IRHD	66 IRHD
190°C	64 IRHD	68 IRHD	71 IRHD
210°C	67 IRHD	69 IRHD	69 IRHD

Tab. 3: Einfluss der Verarbeitungsparameter auf die Härte (24h bei 150°C) an einem HNBR O-Ring mit den Abmessungen 19,3mm x 2,4mm (Quelle der Daten: Parker Hannifin GmbH)²⁰

¹⁹ RICHTER, Bernhard: Vortrag „Dichtungswerkstoffe für O-Ringe“ im Seminar "Anwendung und Instandhaltung von Gleitringdichtungen" am 29./30.November 1995 im Haus der Technik, Essen

²⁰ BLOBNER, U. und RICHTER, B.: Druckverformungsrestprüfung (DVR-Prüfung): - Prüftechnische Grundlagen und Empfehlungen für die praktische Anwendung, Internetveröffentlichung, 06/2015, S. 19f. (http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_druckverformungsrestpruefung_06_2015.pdf.pdf)

6. Fazit

Auf Grund immer steigender Qualitätsanforderungen – auch an das Massenprodukt O-Ring – ist es für Dichtungsanwender nicht nur sinnvoll, sondern auch notwendig die Qualität von O-Ringen klar zu definieren und angemessen zu überprüfen.

Die ISO 3601-5 gibt hier in Bezug auf Sollwerte, wie auch auf Prüfmethode eine gute Hilfestellung.

Die wohl am häufigsten durchgeführten physikalischen Prüfmethode im Wareneingang sind die Messung von Dichte²¹, Härte und Druckverformungsrest. Diese Prüfmethode gelten als einfach und allgemein bekannt. Die Wichtigkeit und Aussagekraft der Druckverformungsrestprüfung als Fertigteilprüfung hingegen wird meist noch unterschätzt. Bei richtiger und konsequenter Umsetzung dieser Prüfverfahren kann der Anwender sicher sein, trotz globaler und wirtschaftlicher Beschaffung eine konstante Qualität zu erhalten. Dies entbindet ihn freilich nicht davon, die prinzipielle Eignung der eingesetzten Rezepturen angemessen zu prüfen und den Lieferanten prinzipiell bezüglich seiner Verarbeitungs- und Qualitätskompetenz zu überprüfen bzw. zu qualifizieren.

Eine Kurzform dieses Artikels erschien in der Fachzeitschrift „KGK Kautschuk Gummi Kunststoffe“ des Hüthig Verlages, Doppelausgabe 07/08 2018, S. 12-15

²¹ Ausführliche Informationen zur Dichteprüfung: Siehe: BLOBNER, U. und RICHTER, B.: Identitätsprüfung: Übereinstimmungen finden; Internetveröffentlichung, 03/2014, (http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_identit_tspr_fung_03_2014.pdf)