

FACHWISSEN SCHADENSANALYSE VON ELASTOMERBAUTEILEN

Ein Angebot des

O RING
PRÜFLABOR
RICHTER

PRÜFEN BERATEN ENTWICKELN

Quelle: www.o-ring-prueflabor.de
Stand der Information: 01/2019

Übermäßiger Abrieb – Die Elastomerdichtung: Ein weicher Partner in harter Umgebung

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

1. Einordnung und Häufigkeit des Schadensbildes

Von den vier Hauptschadensmechanismen wird der übermäßige Abrieb der 3. Hauptgruppe zugerechnet:

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

Die 3. Hauptgruppe lässt sich in drei Untergruppen aufteilen: Montagefehler, falscher Einbauraum und physikalische Überbeanspruchung durch die Betriebsbedingungen. Der übermäßige Abrieb gehört zur letzten Untergruppe, in welcher sich auch Schäden wie Spaltextrusion, Explosive Dekompression bzw. Überhitzung, Luft im Öl oder Dichtungsüberströmung (Blow-By Effekt) finden.

Dieses Fehlerbild verursachte Ausfälle an ca. 2,5% von über 2000 im O-Ring Prüflabor Richter untersuchten elastomeren Dichtungen.

2. Fachliches Hintergrundwissen zum Schadensbild

In der Literatur wird das Schadensbild „Übermäßiger Abrieb“ auch als „Übermäßiger Abtragverschleiß“¹ oder „Abriebverschleiß“² bezeichnet.

Dieses Schadensbild tritt vorwiegend bei bewegten Abdichtungen auf und kann sehr *vieler verschiedener Ursachen* haben. Bei einigen Schadensfällen dieses Typs gibt es meist nicht nur eine Ursache, sondern eine Kombination (z.B. zu raue Gegenfläche in Verbindung mit Mangelschmierung und wenig geeignetem Dichtungswerkstoff).

Generell muss bei einer Dichtungsschadensanalyse immer das Umfeld berücksichtigt werden, beim Schadensbild „Abrieb“ gilt dies aber in besonderem Maße, da sehr oft nicht die Dichtung, sondern der Gleitpartner und/oder das Kontaktmedium für den Schaden ursächlich sind.

Abrieb entsteht durch Reibung und ist wie folgt miteinander verknüpft:

- „Die Reibung ist proportional zur Flächenpressung.
- Der Abrieb ist proportional zur Reibung.
- Die Erwärmung der Dichtung ist proportional zur Reibung.“³

2.1 Ungeeignete oder beschädigte Gegenauflfläche

Es ist ein uraltes Wissen, dass härtere Stoffe weichere ritzen. Diese Erkenntnis machte sich der Mineraloge Friedrich Mohs zu eigen, als er die Mohs'sche Härteskala entwickelte. Sie besteht aus zehn Mineralien in aufsteigender Härte (1= Talk bis 10 = Diamant). Ein Mineral kann immer von einem anderen Mineral geritzt werden, welches eine höhere Nummer als es selbst hat, besitzt.

In der Regel sind Gummidichtungen um ein Vielfaches weicher als die Bauteile, in welchen sie montiert sind und daher anfällig für Verletzungen und Abrieb. Besonders ist bei bewegten Dichtungen darauf zu achten, dass die Gegenauflfläche so glatt wie möglich ist und keine scharfen Kanten oder Übergänge aufweist. Oft „kann auch ein Verchromen nach dem Schleifen das Polieren nicht ersetzen.“⁴

Auch einzelne – z.B. durch Beschädigungen verursachte Vertiefungen – sind sehr kritisch. Zum einen können sie scharfe Kanten aufweisen, zum anderen durch den Umstand, dass durch Druck weiches Gummimaterial in eine Vertiefung gepresst werden kann. Bei Bewegungen der Dichtung wird dieses Material dann abgeschert.

2.2 Hydroabrasion (= abrasive Feststoffpartikel, gelöst in Medien)

Dieses Fehlerbild wird durch den gleichen Umstand wie oben ausgelöst, nämlich, dass härtere Materialien weichere ritzen oder abschleifen. Hat eine Gegenauflfläche nur eine bestimmte Schadstelle, so ist diese an einer Dichtung in der Regel lokal eingrenzbar. Durch abrasive Feststoffpartikel (z.B. aus Metall), die in Medien „gelöst“ sind, kommt es hingegen

¹ Vgl. SCHRADER, Klaus: Hydraulik-Dichtungen Teil II: Schadensbilder, -ursachen, -vermeidung in o+p Ölhydraulik und Pneumatik, Heft 5, Band 26, 1982, S. 357

² PARKER Hannifin GmbH (Hrsg.): Prädifa Dichtungshandbuch, August 1999, S. 101

³ PARKER Hannifin GmbH (Hrsg.): O-Ring Handbuch, November 2005, S. 172

⁴ PARKER Hannifin GmbH (Hrsg.): Prädifa Dichtungshandbuch, August 1999, S. 101

meist zu Riefen in den Dichtflächen, welche durch Erosion⁵ ausgewaschen und vergrößert werden. Erosionsriefen können einfach unter dem Mikroskop gefunden werden. Ebenso sind Feststoffpartikel unter einem guten Lichtmikroskop erkennbar, sofern sie nicht ausgespült wurden. Mithilfe von REM EDX lässt sich in Zweifelsfragen zusätzlich noch der Werkstoff des Partikels bestimmen und oft so seine Herkunft klären.

In der Hydraulik treten öfter Probleme durch Riefen auf. „Partikel in Dicht- und Führungsspalt schleifen Längsriefen in die Oberflächen der Stangen und Zylinder. Das Dichtverhalten verschlechtert sich noch nicht, solange diese Riefen nicht tiefer als einige µm sind (...). Durch tiefere Axialriefen strömt jedoch bei hohem Druck die Hydraulikflüssigkeit mit hoher Geschwindigkeit. Dabei entsteht erosiver Verschleiß (...). Um derartige Schäden zu minimieren, sollten die Stangen- und Zylinderoberflächen möglichst hart sein.“⁶

2.3 Trockenlauf bzw. Mangelschmierung

Beim erstmaligen Anlaufen von Maschinen erfahren dynamisch eingesetzte Dichtungen meist einen kurzen Trockenlauf, bis sie mit Schmiermittel versorgt werden. Nach Untersuchungen von MÜLLER und NAU „führte dies jedoch nicht zu statistisch erkennbaren Nachteilen hinsichtlich der dynamischen Dichtigkeit im späteren Betrieb.“⁷ Beim ersten Anlaufen trockener Radialwellendichtringen kommt es lediglich zu einer Verbreiterung der Berührzone, die aber in der Regel keine nachteiligen Folgen für die spätere Funktion der Dichtung hat.

Bleibt jedoch die Schmierung im laufenden Betrieb aus, kann schon nach wenigen Minuten (abhängig von der dynamischen Beanspruchung) die Dichtung so stark abgerieben werden, dass sie komplett ausfällt.

Durch Trockenlauf bzw. Mangelschmierung erfährt die Dichtung auch eine erhöhte Temperatur im Kontaktbereich. „Verschleiß ist meist mit dem Ablösen von Gummipartikeln, also mit Kettenbruch, verbunden, sodass die Temperatur ebenfalls eine wesentliche Rolle spielt. Höhere Temperaturen bewirken im Allgemeinen zwar eine höhere Elastizität der Produkte, jedoch auch einen Kettenabbau in eventuell noch höherem Ausmaß.“⁸

2.4 Konstruktive Mängel (fehlerhafte Auslegung)

Ein häufiger Fehler ist eine zu ungenau definierte Oberflächenbeschaffenheit der Gegenlaufflächen. Es sollte nicht nur die Rauheit vorgegeben werden, sondern auch das Bearbeitungsverfahren bzw. die Topologie der Oberflächen.

Durch zu geringe Vorpressung der Dichtung (z.B. fehlende Berücksichtigung des Durchmesserspiels) kann es zu einer Strömungserosion infolge dynamischer Spalt- oder Druckänderungen kommen. Insbesondere bei O-Ringen ist die Gefahr groß, da zur Reduktion der Reibung bzw. der Losbrechkräfte die Vorspannung von O-Ringen zu stark reduziert wird. Wird eine zu geringe Vorspannung angewendet, kommt es zu einem schnelleren Verlust des wichtigen Rückstellverhaltens des O-Rings.

⁵ Die Strömungserosion ist meist ein Folgeschaden, der aber auch andere Ursachen haben kann, wie z. B. mangelnde Vorpressung der Dichtung.

⁶ MÜLLER, Heinz K. und NAU, Bernard S.: Fachwissen Dichtungstechnik, Kap. 5: Hydraulikdichtungen, S. 30 (Onlineveröffentlichung: www.fachwissen-dichtungstechnik.de, aufgerufen am 11.11.2018)

⁷ MÜLLER, Heinz K. und NAU, Bernard S.: Fachwissen Dichtungstechnik, Kap. 8: Wellendichtringe ohne Überdruck, S. 6f. (Onlineveröffentlichung: www.fachwissen-dichtungstechnik.de, aufgerufen am 11.12.2018)

⁸ RÖTHEMEYER, Fritz und SOMMER, Franz: Kautschuktechnologie, Hanser Verlag, 2001, S. 518f.

2.5 Übermäßige druckbedingte Axialhübe (bei statischen Dichtungen)

Bei harten Druckstößen in Hydrauliksystemen können auch statisch eingesetzte Dichtungen Abrieb erfahren. Besitzt die Dichtungsbuchse ein zu großes Axialspiel, kann dies, trotz des geringen zurückgelegten Reibungsweges der Dichtung bzw. des O-Rings (wenige Zehntel Millimeter), auf Grund einer zyklischen Beanspruchung zu erheblichem Abriebverschleiß führen.

2.6 Ungeeignete Dichtungsrezeptur bzw. -herstellung

Für den Mischungschemiker gibt es viele Möglichkeiten das Abriebverhalten einer Mischung zu beeinflussen.

Die Qualität der Füllstoffe hat einen großen Einfluss. So werden besonders aktive Füllstoffe eingesetzt, um den Abrieb zu minimieren. Die „Polymer-Füllstoff-Wechselwirkung wird bei gleichbleibender chemischer Beschaffenheit der Füllstoffe umso intensiver, je größer die dem Kautschuk angebotene Füllstoffoberfläche ist, unabhängig davon, ob dies durch Erhöhung der Füllstoffmenge oder durch Verkleinerung der Füllstoffteilchen erreicht wird.“⁹

Auch das Vernetzungssystem kann dazu verwendet werden Mischungseigenschaften bzgl. Abriebbeständigkeit zu verbessern.

Ebenso ist das Basispolymer und seine mittlere Molekulargewichtsverteilung von entscheidender Bedeutung. „Kautschuke mit niedriger T_g [Glasübergangstemperatur] bzw. Elastomere mit geringer Hysterese [geringer Verlustwinkel δ] unterliegen einem geringen Verschleiß.“¹⁰ Für extreme Anforderungen an Verschleißbeständigkeit eignen sich besonders thermoplastische Polyurethan-Elastomere, was ihren häufigen Einsatz im Hydraulikbereich erklärt. Im Bereich der klassischen Elastomere weisen HNBR-Werkstoffe die beste Abriebbeständigkeit auf.

Die Vernetzungsdichte ist auch eine Stellgröße, mit welcher man eine Rezeptur optimieren kann. Um eine gute Abriebbeständigkeit zu erhalten, braucht man eine eher geringere Vernetzungsdichte. Dies kann aber mit Einbußen bei anderen Eigenschaften verbunden sein, wie bspw. einem schlechteren Druckverformungsrest.

2.7 Geänderte Betriebsbedingungen

Kritisch kann ein Wechsel von Schmierstoffen, bspw. von mineralischen Ölen hin zu synthetischen oder biologisch abbaubaren sein. Mitunter haben diese alternativen Schmierstoffe schlechtere tribologische Eigenschaften.

Durch stark erhöhte, ursprünglich nicht vorgesehene, Belastungen einer Anlage, können Dichtungen nicht genügend mit Schmierstoff versorgt werden.

Ebenso können abweichende Temperaturen oder geänderte Maschinenprogramme zu vermehrtem Abrieb und somit zu verfrühtem Dichtungsausfall führen.

⁹ KEMPERMANN, Th.: Vulkasil verstärkende Kieselsäure-Füllstoffe (Kap. D12) in: BAYER AG: Handbuch für die Gummiindustrie, 1991, S. 538

¹⁰ RÖTHEMEYER, Fritz und SOMMER, Franz: Kautschuktechnologie, Hanser Verlag, 2001, S. 518

2.8 Übermäßige Quellung in Kontaktmedien

Werden Schmiermittel bspw. im nach hinein getauscht und nicht ihre Kompatibilität mit dem Dichtungswerkstoff geprüft oder werden ungeeignete Dichtungswerkstoffe eingesetzt, kann es zu übermäßigen Quellungen kommen. Für dynamische Abdichtungen sind in der Regel Volumenquellungen von 5-10% zulässig, höhere Quellraten können zu Problemen führen. Die Dichtung vergrößert durch die Quellung ihre Anlagefläche und erweicht stark, was ihren Widerstand gegen Abtragverschleiß reduziert.

3. Schadensbild

3.1 Beschreibung des Schadensbildes und problematischer Bereiche

Generell gilt nach Abtragverschleiß, dass die geschädigten Dichtungen einen nachweisbaren Masseverlust aufweisen. Außerdem kann mit Hilfe eines Profilprojektors die Querschnittfläche gemessen und mit der Ausgangsdichtung verglichen werden. Hier lässt sich bei dieser Schadensart eine reduzierte Fläche erkennen.

Vorrangig zeigen sich an Stellen mit abgetragenem Material zwei Schadensbilder:

Entweder ist die Schadensfläche glatt und glänzend (flächiger Verschleiß) oder sie weist Riefen mit oder ohne Partikelresten auf.

Bei abgeriebenen Dichtungen ist normalerweise die Elastizität des Materials noch komplett erhalten, es zeigen sich also keine Alterserscheinungen.

3.1.1 Schadensbild „Abrieb durch ungeeignete Gegenauflfläche“

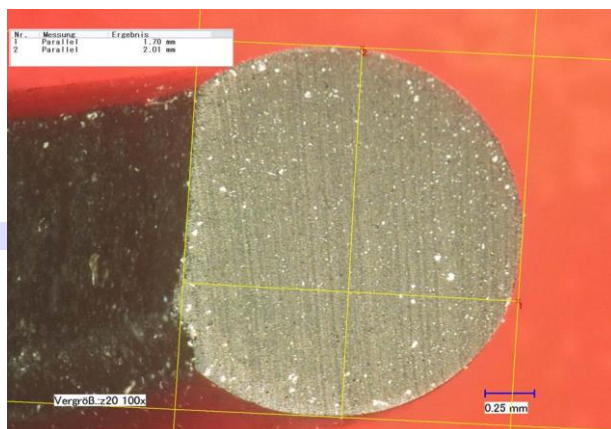


Abb. 1: Übermäßiger Abrieb verursacht durch eine schlechte Gegenauflfläche

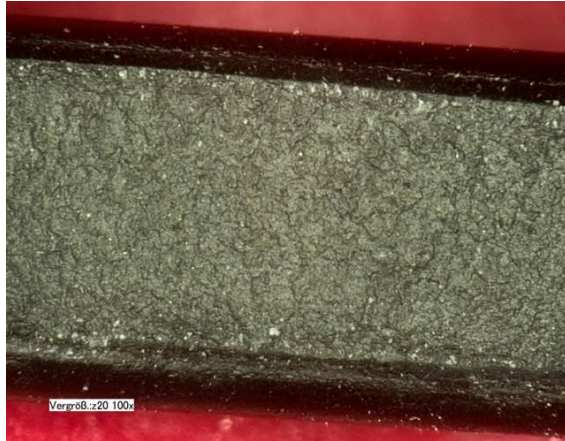


Abb. 2: Frontalansicht des abgeriebenen Bereichs von O-Ring aus Abb. 1

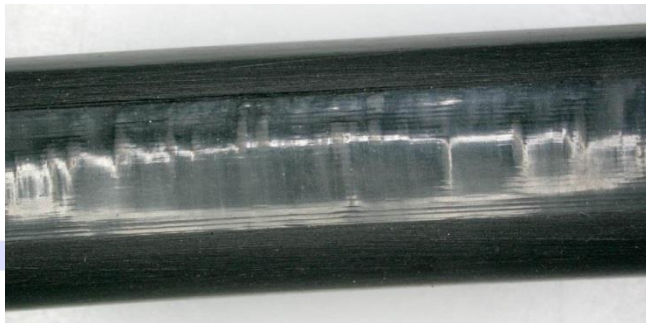


Abb. 3: Unsymmetrisch abgeflachter O-Ring, die abgeriebene Oberfläche ist glatt und glänzend

3.1.2 Schadensbild „Hydroabrasion“



Abb. 4: Innenseite eines aufgeschnittenen EPDM O-Rings aus einem Thermostatventil: In den Riefen sind deutlich Metallpartikel zu erkennen (Hydroabrasion)

3.1.3 Schadensbild „Abrieb durch Mangelschmierung / Trockenlauf“



Abb. 5: Starker Abrieb an der Dichtlippe eines Radialwellendichtrings nach Trockenlauf bzw. Mangelschmierung und unzulässig hoher Druckbeaufschlagung



Abb. 6: Ursprüngliches Profil des Radialwellendichtrings aus Abb. 5

3.1.4 Schadensbild „Abrieb durch konstruktive Mängel“

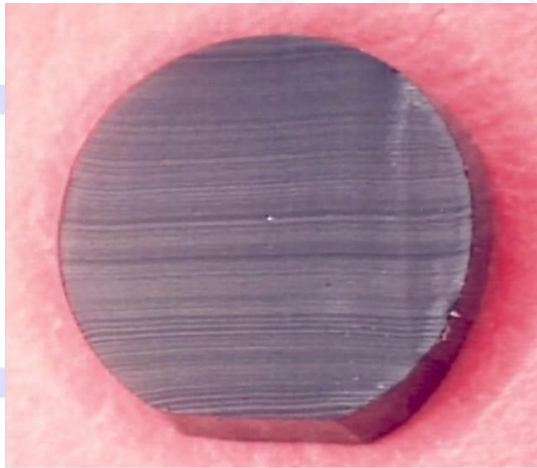


Abb. 7: Einseitig abgeflachter O-Ring; die abgeriebene Oberfläche selbst ist glatt und glänzend. Um die Reibkräfte gering zu halten, werden dynamisch eingesetzte O-Ringe oft nur wenig verpresst. Ein relativ geringer Abrieb, wie an dem gezeigten O-Ring, führt dann schon zur Undichtheit

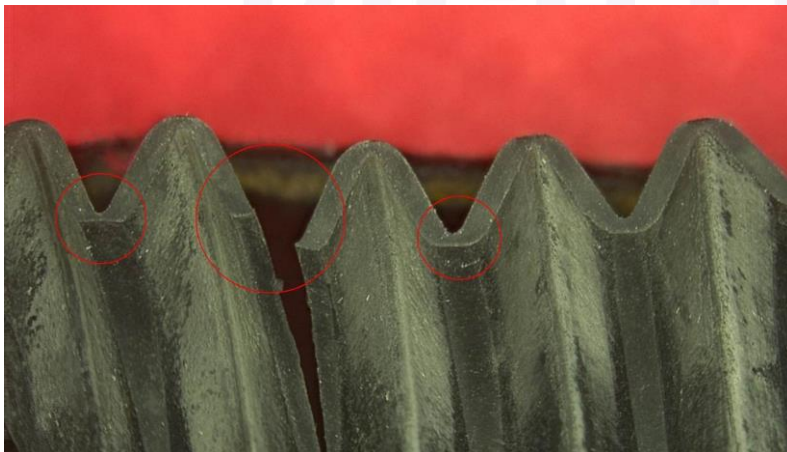


Abb. 8: Durchriss eines EPDM-Faltenbalges infolge Abrieb (mittlerer roter Kreis), der linke rote Kreis zeigt einen stark abgeriebenen Bereich, der ebenfalls kurz vor dem Durchriss steht

Durch eine Materialverstärkung im kritischen Bereich oder einer geänderten Konstruktion, die das Scheuern reduziert, kann dieser Schaden vermieden werden.

3.1.5 Schadensbild „Abrieb durch übermäßige druckbedingte Axialhübe“

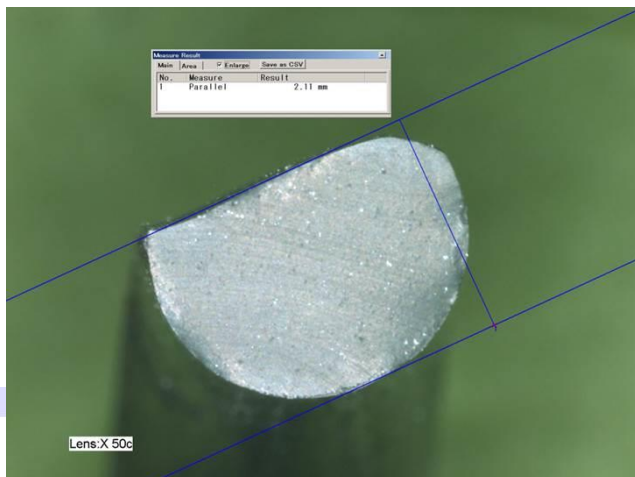


Abb. 9: Abgeriebener O-Ring (EPDM, 70 ShA) aus „statischer“ Abdichtung mit zu großem druckbedingten Axialhub; Kolbeneinbauraum: Kolben mit Stahlklammer fixiert, gab unter Druck (10 bar) 0,5-1 mm nach, Durchmesserspiel ca. 0,5 mm, exzentrische Lage



Abb. 10: Draufsicht Außendurchmesser des geschädigten O-Rings aus Abb. 7

3.1.6 Schadensbild „Abrieb durch ungeeignete Dichtungsrezeptur bzw. -herstellung“

Diese Fehlerursache ist nicht direkt aus dem Schadensbild ableitbar. Dies zeigt sich im Vergleich mit anderen Rezepturen bzw. früheren Chargen.

3.1.7 Schadensbild „Abrieb durch geänderte Betriebsbedingungen“

Diese Fehlerursache ist nicht direkt aus dem Schadensbild ableitbar, sondern kann nur durch Nachforschungen bei und durch fachlichen Austausch mit dem Dichtungsanwender herausgefunden werden. Es bleibt hier lediglich der Nachweis zu führen, dass sich die Dichtungsrezeptur nicht signifikant gegenüber früheren Lieferungen geändert hat.

3.1.8 Schadensbild „Abrieb durch übermäßige Quellung in Kontaktmedien“

Neben einer stattgefundenen Erweichung und einer Abnahme der Dichte lässt sich gegenüber dem Neuzustand der Dichtung in der TG-Analyse eine Zunahme der flüchtigen Bestandteile erkennen. Falls erforderlich, kann der Verursacher der Quellung mittels FTIR-Analyse

(Extraktuntersuchung) oder noch besser mittels GC-MS-Analyse (Thermodesorption) ermittelt werden.

3.2 Auswirkungen des Schadens

Die Folgen übermäßigen Abriebs zeigen sich schleichend. Nach anfänglichen Schwitzlecken nimmt die Undichtigkeit immer mehr zu, bis es schließlich zu einem vollständigen Ausfall des Dichtsystems kommt.

Abrieb kann aber auch Durchrisse an Gummibauteilen, wie z.B. Faltenbälgen verursachen, wenn bspw. dünne Bereiche stark abgeschliffen werden.

3.3 Abgrenzung zu ähnlichen Schadensbildern

Der Schaden „Bleibende Verformung“ kann auf den ersten Blick einem übermäßigen Abrieb ähneln. Jedoch weisen Dichtungen mit einer bleibenden Verformung in der Regel eine symmetrische Abflachung auf, sie zeigen keinen Masseverlust und haben Anzeichen von Alterung (Härtezunahme).

Erosionsschäden an Dichtungen durch überschießende Luft oder Blowby-Effekte können ähnlich wie bei der Hydroabrasion riefenartige Strukturen erzeugen. Jedoch finden sich keinerlei Partikelrückstände in den Riefen.

4. Präventionsmaßnahmen

Eine wichtige Vorbeugemaßnahme gegen Hydroabrasion ist eine regelmäßige Ölwartung und der Einsatz von geeigneten Filtern, um die Partikelfracht im Öl so gering wie möglich zu halten.

Werden bei Stangendichtungen Abstreifer vorgesehen, können diese verhindern, dass Partikel Riefen in die Kolbenstangen schleifen.

Schließlich empfiehlt und lohnt sich der Einsatz von abriebbeständigen, hochwertigen Dichtungsrezepturen in kritischen Anwendungen. Bei Bezug von Dichtungen sollte sichergestellt sein, dass der Lieferant nicht ohne Erlaubnis des Auftraggebers die Rezeptur ändert.

5. Praxistipps (Prüfmöglichkeiten / Normempfehlungen)

Über Jahrzehnte der Gummiprüfung hat sich eine Vielzahl von Abriebprüfmethoden entwickelt (Akron abrader, Abriebwiderstand nach DIN ISO 4649, DuPont-Grasselli Maschine, Dunlop-Lambourn-Maschine, Goodyear-Winkelmaschine, Pico-Abriebtest u.v.m.), die aber für konkrete Aussagen im Dichtungsbereich wenig hilfreich sind. So können bestimmte Arten von Weichmachern Schmiereffekte hervorrufen, wodurch ein guter Abriebwiderstandswert vorgetäuscht wird. Diese Abriebprüfmethoden können lediglich die Werkstoffvorauswahl erleichtern.

Letztendlich sollte die Tauglichkeit in Bezug auf Abrieb in möglichst realitätsnahen Versuchsständen (z.B. für Hydraulik oder Pneumatik) nachgewiesen werden, wie sie bspw. größere Dichtungshersteller betreiben.

6. Sonstiges

Dieser Artikel erscheint in einer Kurzfassung in der Zeitschrift DICHT!, Ausgabe 01/2019.

O RING

PRÜFLABOR

RICHTER
