

## **Bewertung von Beständigkeitstests von Elastomeren Werkstoffen mit Getriebe- und Motorölen bezüglich des Funktionsverhalten von Radialwellendichtringen**

### **Einleitung**

Von allen eingesetzten elastomeren Dichtungen stellt der Radialwellendichtring in Bezug auf Medienverträglichkeit die empfindlichste Dichtung dar. Dies hat mehrere Ursachen:

- durch die hohe Relativgeschwindigkeit der Dichtkante gegenüber der Welle entsteht eine erhebliche Temperaturerhöhung gegenüber der Ölsumpftemperatur, welche in Einzelfällen bis zu 50°C betragen kann
- Wegen der geringen Berührbreite der Dichtung mit der Welle von wenigen Zehntel Millimetern machen sich schon kleine Ausbrüche oder Risse als Leckage bemerkbar.
- Die kontinuierliche Reduktion der Radialkraft zugunsten geringer Reibungsverluste hat zu einer weiteren Erhöhung der Empfindlichkeit gegenüber Störeinflüssen geführt.
- Insbesondere beim Anlaufen unter Mischreibung erfährt der Radialwellendichtring auch eine erhebliche abrasive Beanspruchung

Aus anwendungstechnischer Sicht ist zur Absicherung der Dichtfunktion von Radialwellendichtringen daher umso mehr ein Nachweis über eine ausreichende chemische Beständigkeit erforderlich. Dabei können diese zwar die erforderlichen Prüfungen der Dichtungen auf Versuchsständen oder in der Anwendung nicht ersetzen, sie können aber im Vorfeld bereits Gefahrenpotentiale bei der Öl- bzw. Werkstoffentwicklung ausmachen und damit unnötige Kosten für Feld- und Anwendungsversuche vermeiden und Entwicklungszeiten abkürzen. Dieser Vortrag soll eine Hilfe darstellen, Ergebnisse aus Verträglichkeitsuntersuchungen insbesondere aus anwendungstechnischer Sicht besser bewerten zu können.

### **Physikalische Reaktionsmechanismen zwischen Öl und Dichtungswerkstoff**

Bei der Einwirkung eines Öles auf ein Elastomer laufen verschiedene Vorgänge parallel ab, die sich nach physikalischen und chemischen Reaktionsmechanismen unterteilen lassen, je nachdem, ob diese das vorhandene Netzwerk der langkettigen Polymere mit einem Vernetzer verändern (chemische Einwirkung) oder nicht (physikalische Einwirkung), siehe Bild 1

Da alle Elastomere eine begrenzte Löslichkeit mit Fluiden haben, wird der vernetzte Kautschuk immer etwas vom umgebenden Fluid in sich aufnehmen, die Frage ist nur wie viel, sind es weniger als 1% oder gar über 100%. Dies allein betrachtet führt immer zu einer Volumenzunahme, die Größe der Zunahme ist abhängig von der Löslichkeit des Kautschuks mit dem Grundöl und vom Kaut-

schukanteil der Rezeptur, der Prüftemperatur- und der Zeit, darüber hinaus kann sich auch die Geometrie der Dichtung auf den Maximalwert der Quellung auswirken. Allerdings wird dieser Quellvorgang immer überlagert durch eine

<b>Einwirkung von Medien</b>	
<b>Physikalische Reaktionsmechanismen</b>	<b>Chemische Reaktionsmechanismen</b>
<b>1. Quellung : Kautschuk nimmt das Medium auf</b>	<b>Chemische Veränderungen in der Polymerstruktur oder in der Vernetzung</b>
<b>2. Extraktion: Medium löst extrahierbare Mischungsbestandteile heraus</b>	<b>- Erhärtung oder Klebrigkeit</b>
	<b>- Verlust der Elastizität, Rissbildungen</b>
<b>Volumenänderung</b>	<b>Irreversible Änderungen der Eigenschaften</b>
<b>dyn. Anwendung: Soll 0 (-5)bis 5 (10) %</b>	<b>Nur begrenzt zulässig</b>

Bild 1

Extraktion von löslichen Mischungsbestandteilen in der Rezeptur, wie zum Beispiel Restmonomere bzw. Oligomere, Alterungsschutzmittel, Verarbeitungshilfsmittel oder Weichmacher - letzteren kommt in der Praxis diesbezüglich die größere Bedeutung zu, weil diese teilweise einen erheblichen Anteil in der Rezeptur ausmachen können, während die anderen genannten Bestandteile in der Summe meist unter 3% liegen. Damit sind also auch Volumenabnahmen von Gummidichtungen in Ölen erklärbar, wenn nämlich der extrahierte Anteil höher ist als die Quellung des Kautschuks. Die Quellung eines Elastomerwerkstoffes ist insofern reversibel, als sich die eindiffundierten Stoffe über geeignete Lösungsmittel wieder extrahieren lassen und der Elastomerwerkstoff dabei seine Elastizität nicht verliert.

### **Anwendungstechnische Bedeutung von Quellung/Schrumpfung**

Findet nun eine Volumenzunahme statt, so wirkt diese der Vorspannung der auf die Welle gedehnt montierten Dichtlippe entgegen und führt damit zu einer Abnahme der Radialkraft, gleichzeitig wird die Zunahme des Volumens durch eine Härteabnahme begleitet, was bei gleicher Radialkraft zu einer leichten Verbreiterung der Berührfläche führt. Betrachtet man nur geringe Quellungen von unter 5% und Härteabnahmen von weniger als 5 Punkten dürften sich diese festgestellten Änderungen nicht erheblich auf das Funktionsverhalten auswirken. Wo exakt die anwendungstechnische Schmerzgrenze für die Quellung liegt, hängt im Einzelfall insbesondere von der relativen Aufweitung der Lippe ab, welche bei größeren Wellendurchmesser abnimmt. Es wird jedoch davon aus-

gegangen, dass Quellwerte bis zu 10 % (Volumenänderung) und Härteabnahmen bis zu max. 10-12 Punkten noch akzeptabel sind, das heißt zu keiner signifikanten Laufzeitverkürzung führen. Sind die Quellraten über 10%, stellt das nicht zwangsweise ein K.O-Kriterium dar, es muss aber eine versuchstechnische Absicherung die Zulässigkeit belegen. Quellraten über 15-20% können allein einen Ausfall erklären -siehe Bild 2



Bild 2-ein durch Quellung ausgefallener RWDR

Ein Schwund wird zu einer Erhöhung der Radialkraft führen, was damit den Einfluss der Spannungsrelaxation kompensieren kann und damit im geringen Maße zugelassen werden kann- die Schmerzgrenze wird bei ca. 5-8 % Volumenschwund angenommen.

Um die Volumenänderung des Dichtungswerkstoffes in dem eingesetzten Öl festzustellen, werden in der Regel Prüfungen über maximal 168h bei 100°C als ausreichend angesehen. Da die Probengeometrie (Verhältnis freie Oberfläche/Masse) einen Einfluss auf den Sättigungswert der Quellung haben kann, werden zur Prüfung relativ dünnwandige Probekörper empfohlen (zum Beispiel S2-Schulterstäbe, ca. 2 mm dick).

### **Definition einer zulässigen chemischen Einwirkung**

Ändert sich die Struktur des Werkstoffes, das heißt, verändert sich das vorhandene Netzwerk aus langkettigen Polymeren mit einem Vernetzer, so verändern sich auch die gummielastischen Eigenschaften, im fortgeschrittenen Stadium bis zum kompletten, irreversiblen Verlust jeglichen Rückstellvermögens, begleitet von einer Versprödung und teilweise von Rissen an der Oberfläche (Bild 3). Diese chemische Einwirkung erklärt sich aus einer Segmentierung der langen Polymerketten in kürzere Abschnitte und einer parallel stattfindende Nachvernetzung. Das heißt, das alte Netzwerk wird zerstört, wodurch der Werkstoff einen großen Teil seines Rückstellverhaltens verliert, gleichzeitig bildet sich ein neues Netzwerk, das zusätzlich die Rückstellung der gedehnten Dichtlippe behindert.



*Bild 3: Durch chemischen Angriff zerstörte Dichtkante eines RWDRs*

Beides zusammen bedeutet einen kompletten Abbau der durch die elastische Aufweitung der Dichtlippe erzeugten Radialkraft. Durch die dabei stattfindende Versprödung verliert die Dichtkante an Dichtvermögen im statischen Zustand und wird bei einer relativ geringen Verformungsbeanspruchung ausbrechen beziehungsweise anreisen. Verantwortlich für diese chemische Einwirkung auf die Dichtung ist in der Regel nicht das Grundöl selbst, sondern die Additivierung des betrachteten Öles. Erst wenn das Grundöl selbst durch unzulässige thermische oder chemische Beanspruchungen altert, geht von diesem ebenfalls ein chemisches Gefährdungspotential für den Dichtungswerkstoff aus.

Um den Grad der chemischen Einwirkungen auf den Dichtungswerkstoff abschätzen zu können, misst man bei Beständigkeitsprüfungen neben üblichen Härte- Volumen- und Gewichtsänderungen die Änderungen in der Zugfestigkeit, der Reißdehnung und des Moduls (100% Dehnung). Ändert sich die Netzwerkstruktur, ändern sich auch diese physikalischen Eigenschaften: Eine Ketenspaltung führt zu einem Verlust der Festigkeit und einer Erweichung, eine Nachvernetzung zu einem Verlust der Reißdehnung ebenso wie zu einer Härtezunahme und zu einer Zunahme des Moduls.

Von einer lebensdauerverkürzenden Einwirkung geht man dann aus, wenn die durch das Fluid verursachten Veränderungen stärker sind als die durch den umgebenden Luftsauerstoff verursachten Alterungsprozesse. Der Luftsauerstoff stellt für den Dichtungswerkstoff eine relativ aggressive Umgebung dar, Bild 4, dessen Auswirkung aber in etwa für den Dichtungswerkstoff abgeschätzt werden kann und dessen Einfluss ja auch immer da ist, da ja schließlich eine Seite der Dichtlippe immer der Luft zugewandt ist. Zeigt der Dichtungswerkstoff also in dem Öl keine signifikant höheren Veränderungen der Eigenschaften als in Luft, kann man von einer Eignung des Dichtungswerkstoffes ausgehen. Ein empfindlicher Indikator für stattgefundenene Veränderungen im Netzwerk des Werkstoffes ist die Änderung der Reißdehnung nach Einlagerung in Luft und umgebenden Medien.

## Einwirkung von Hitze Alterung durch Sauerstoff + Temperatur (=Oxidation)

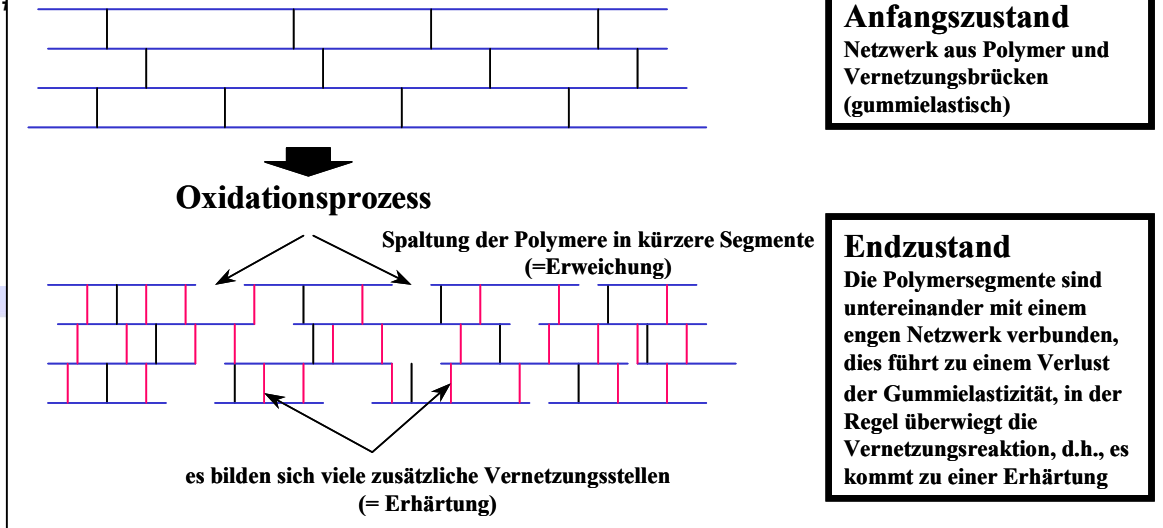


Bild 4-Schadensmechanismus der Alterung durch Wärme und Sauerstoff

Allein daraus lässt sich das chemische Gefährdungspotential eines Betriebsstoffes auf den Dichtungswerkstoff schon gut ableiten, siehe Bild 5. So ist zum Beispiel das nicht additivierte ASTM Öl Nr.1 (Paraffinöl) deutlich weniger aggressiv als Luft, und wirkt daher konservierend, das heißt lebensdauerverlängernd, während das Motoröl und das Getriebeöl eine etwas aggressivere Wirkung als Luft auf den Dichtungswerkstoff haben.

RICHTER

## Langzeitverhalten von NBR gegenüber verschiedenen Ölen, Fett und Luft

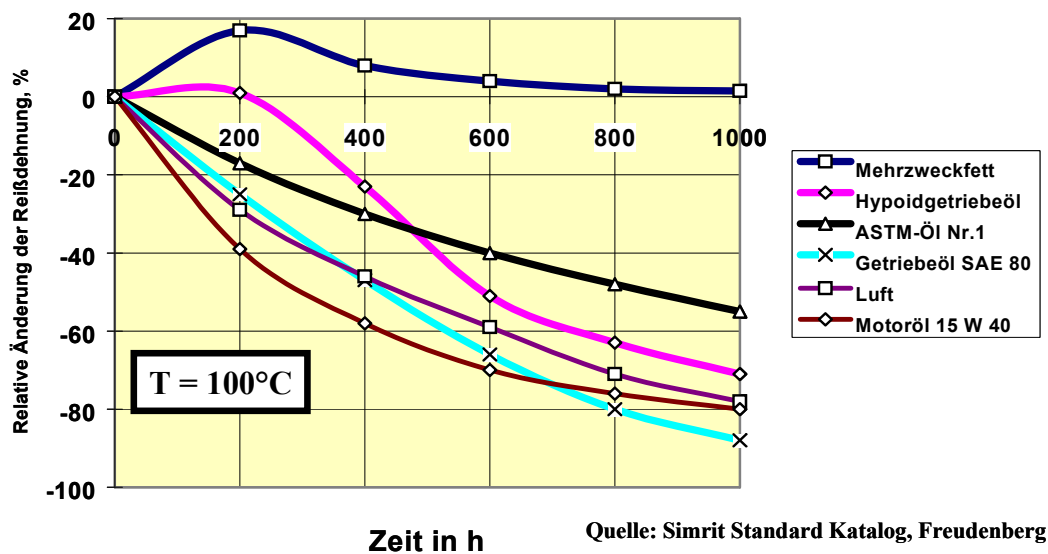


Bild 5 – Bewertung der chemischen Aggressivität im Vergleich zur Luftalterung

Zusammenfassend lässt sich also eine zulässige chemische Einwirkung des Öles auf den Dichtungswerkstoff so definieren, dass diese im Vergleich zur Einwirkung von Luft die Lebensdauer des Dichtungswerkstoffes nicht verkürzt. Und dazu können Kurzzeittests bereits einen erheblichen Beitrag bei der Vorauswahl leisten, siehe Bilder 6 und 7. Bereits nach 168h zeigt sich, dass die Änderungen in Getriebeölen 2 und 3 erheblich höher sind, als die Änderungen in Luft. Nach 1008h sind die Proben in diesen beiden Getriebeölen komplett versprödet, das heißt, sie haben jegliche Gummielastizität verloren.

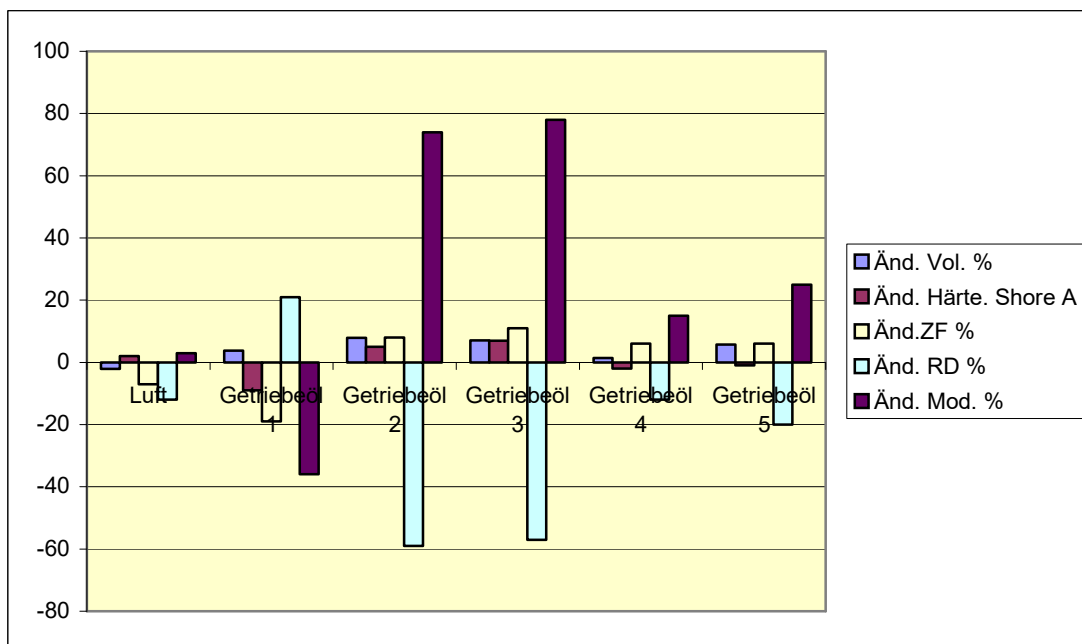


Bild 6 – Ergebnisse aus Einlagerungen bei 168h/150°C



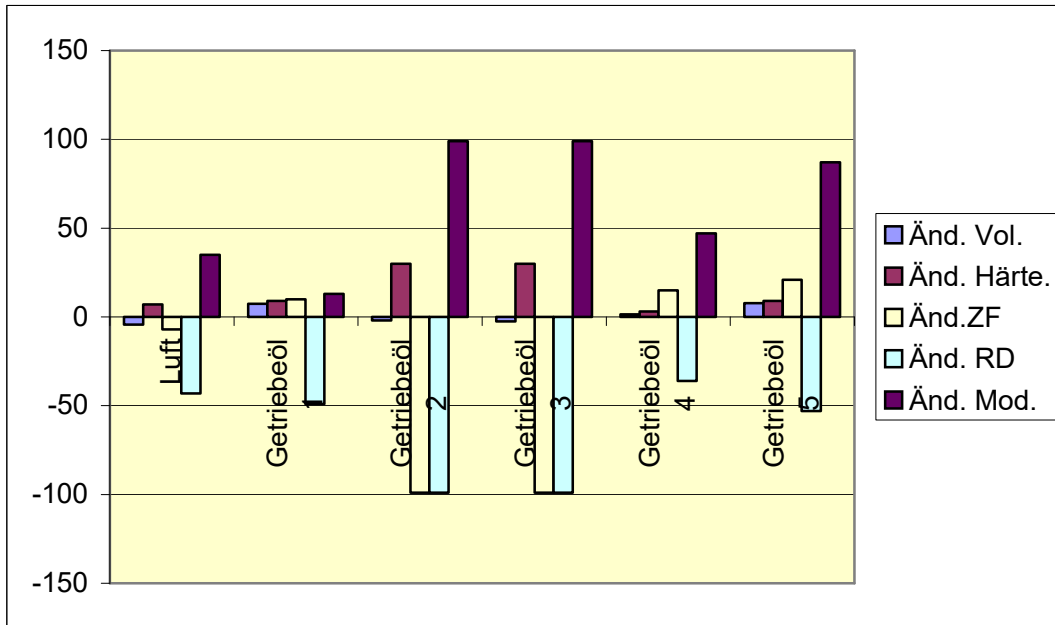


Bild 7 – Ergebnisse aus Einlagerungen bei 1008h/150°C

## Einteilung von Verträglichkeitsprüfungen nach Ihrer Zielsetzung

Beständigkeitsprüfungen von Dichtungswerkstoffen können unter verschiedenen Zielvorgaben durchgeführt werden, die Prüfungsdurchführung findet in der Regel nach ISO 1817 oder VDA 675 301 statt:

1. **Einfache Quelltests** - sie dienen nur zur Ermittlung des Quell-/Extraktionsverhaltens. Ziel des Tests ist lediglich die Erkenntnis, ob sich die untersuchte Paarung Werkstoff/Öl prinzipiell für den Einsatz eignet - oder ob sich an dem Verhalten gegenüber anderen Werkstoff-/Ölchargen etwas geändert hat. Für diesen Zweck reichen Tests über 72 oder 168 Stunden bei 100°C aus, betrachtet wird lediglich die Volumen- und Härteänderung.
2. **Kurzzeit-Orientierungstests**- diese gehen über 72 bis 168 Stunden bei der oberen Dauertemperaturgrenze des Dichtungswerkstoffes (mind. 100°C) oder der max. Dauereinsatzgrenze des Öles (meistens max. 150°C) und schließen die Änderungen der Zugfestigkeit, der Reißdehnung und des 100%-Moduls mit ein. Diese Prüfungen lassen bereits in vielen Fällen chemische Unverträglichkeiten (falls vorhanden) erkennen, in dem die Änderungen erheblich höher sind als in einer entsprechenden Prüfung in Luft. Daher werden diese Prüfungen gerne als Nachweis für eine definierte Beständigkeit in Rahmen von Spezifikationen angewendet, auch sind diese gut als vergleichende Prüfung von verschiedenen Öl- oder Werkstoffrezepturen geeignet.
3. **Langzeit-Beständigkeitsnachweise**- diese gehen mindestens über 500, meistens aber über 1000 Stunden und werden bei der oberen Dauertemperaturgrenze des Dichtungswerkstoffes (mind. 100°C) oder der max. Dauereinsatzgrenze des Öles (meistens max. 150°C) durchgeführt. Sind nach diesen langen Einlagerungszeiten keine Veränderungen insbesondere in der Zugfestigkeit, der Reißdehnung und des Moduls erkennbar, die höher sind als die bei einer entsprechenden Einlagerung in Luft, geht man von einer ausreichenden

Medienbeständigkeit aus. Diese Art der Beständigkeitsnachweise finden sich häufig in Spezifikationen in der Automobilindustrie.

4. **Lebensdauer-Verträglichkeitsnachweise** - Will man die chemische Beständigkeit einer Dichtung über seine gesamte Laufzeit versuchstechnisch absichern, so muss man zunächst für das über die gesamte Betriebszeit anzunehmende Temperaturkollektiv eine Ersatztemperatur ermitteln, welche an der oberen zulässigen Dauertemperatur des Dichtungswerkstoffes bzw. des Öles liegen sollte, um die Versuchszeiten auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Da man für chemische Einwirkungen für den Zusammenhang zwischen Temperatur und Reaktionsgeschwindigkeit die Arrhenius-Gleichung zu Grunde legen kann, heißt das, dass die höheren Temperaturen wesentlich stärker gewichtet werden müssen als die niedrigen, in der Regel geht man davon aus, dass bei einer Temperaturerhöhung von 10-15 °C sich die Geschwindigkeit für chemische Reaktionen verdoppelt, was sich auch für viele Alterungsprozesse bei elastomeren Werkstoffen bestätigt hat. Somit kann man beispielsweise eine isotherme Beanspruchung von 6000h bei 80°C einer Temperaturbeanspruchung von 3000h/90°C oder 1500h/100°C oder 750h/110°C in etwa gleichsetzen. Dabei sollte für die angenommene Öltemperatur aber die Temperaturüberhöhung im Dichtspalt unter Betriebsbedingungen mitberücksichtigt werden. Im statischen Einsatz, also bei Stillstandszeiten, heißt das, dass sich diese niedrigen Umgebungstemperaturen auf die chemische Einwirkung auf den Dichtungswerkstoff kaum auswirken. So sind in etwa 1000 Betriebsstunden bei 20°C einer Betriebsstunde bei 120°C gleichzusetzen. Verträglichkeitstests mit Ölen, wie diese in der Automobilindustrie typisch sind über 1000h bei 150°C decken also eine isotherme Beanspruchung von ca. 2000h/140°C, 4000h/130°C oder ca. 80000h/120°C ab. Dieser angenommene Zusammenhang bezieht sich aber ausschließlich auf eine betrachtete chemische Reaktion, in dem Moment, wo sich das Öl chemisch infolge thermischer Alterung verändert, gelten diese Annahmen nicht mehr. Bei Radialwellendichtringe bleibt hier insbesondere die Unsicherheit einer eventuellen Temperaturüberhöhung im Dichtspalt, inwiefern diese bei diesen Betrachtungen gebührend berücksichtigt ist und dass diese Temperaturerhöhung zu keiner unzulässigen Veränderung des Öls führen darf.

### **Interpretation von Prüfergebnissen aus Beständigkeitstests**

Sind nun Beständigkeitstests durchgeführt worden, geht es darum, die gewonnenen Ergebnisse richtig zu interpretieren. Daher werden hier verschiedene Grade der gefundenen Veränderungen diskutiert. Wie oben ausgeführt, werden physikalische Einwirkungen (Veränderungsgrade 1 und 2) durch das umgebende Medium wesentlich unkritischer eingestuft als Veränderungen in der Netzwerkstruktur des Werkstoffes. Die festgestellten Veränderungen können verschiedene Ursache haben:

**Härteänderungen-** eine Härteabnahme wird meistens durch eine Quellung (physikalische Einwirkung) verursacht, eine Härtezunahme in der Regel durch eine Nachvernetzung (chemische bedingte Einwirkung durch das Fluid bzw. durch Sauerstoff und Wärme). Durch die Nachvernetzung baut sich die Radialkraft des Wellendichtrings ab und die Reißdehnung und damit auch der Weiterreißwiderstand des Werkstoffes nimmt ab, was nach einem leichten Anriss der Dichtkante zu einem schnelleren Durchriss führt. Häufig laufen beide Vorgänge



parallel ab, nach langen Laufzeiten wird die durch die Quellung eingetretene Härteabnahme durch eine chemisch bedingte Härtezunahme kompensiert. Bei einer ungünstigen Additivierung des Öles kann diese Härtezunahme auch dominant sein.

**Volumenänderung-** Diese ergibt sich aus einer Überlagerung der Quellung des Kautschuks und einer Extraktion der löslichen Mischungsbestandteile.

**Änderung der Zugfestigkeit** - Eine leichte Extraktion oder eine leichte Nachvernetzung können zu einer Erhöhung der Zugfestigkeit führen- eine Quellung (Weichmachereffekt) und eine chemische Einwirkung (Kettenspaltung) zu einer Abnahme der Reißfestigkeit. Eine starke Abnahme der Reißfestigkeit ist in der Regel die Folge einer starken chemischen Einwirkung und führt insbesondere unter dynamischer Beanspruchung im Mischreibungsbereich zu erhöhtem Verschleiß oder zu Materialausbrüchen. Allerdings tritt dieser starke Abfall der Festigkeit als Folge eines chemischen Angriffs meistens erst deutlich später ein als der Abfall der Reißdehnung.

**Änderung der Reißdehnung** - eine Quellung (Weichmachereffekt) führt zu einer Zunahme der Reißdehnung, eine Extraktion zu einer leichten Abnahme. Ein chemischer Angriff beziehungsweise eine Nachvernetzung führt zu einer Abnahme der Reißdehnung, die je nach Aggressivität des Fluids bis zu einem totalen Verlust der Gummielastizität führen kann. Durch diese Nachvernetzung baut sich die durch Aufdehnung der Dichtlippe erzeugte Radialkraft des Wellendichtrings ab und der Verlust der Reißdehnung führt zu einer höheren Empfindlichkeit gegen Rissbildungen im Mischreibungsbereich. Im fortgeschrittenen Stadium reichen dann schon kleinste Verformungen der Dichtkante zur Rissbildung aus. Der erhebliche Verlust der Reißdehnung nach Öleinlagerung ist der sicherste Indikator für eine unzulässige chemische Einwirkung.

**Änderungen des Moduls (100%)** - der Modul zeigt ähnlich wie die Härte neben den physikalischen Einwirkungen (Quellung = Abnahme, Extraktion =Zunahme) eine Veränderung im Netzwerk, das heißt eine chemische Veränderung an. Im Vergleich zur Härte lässt sich die Intensität der stattgefundenen Veränderung, die in % angegeben ist, aber besser bewerten. Eine starke Zunahme des Moduls zeigt an, dass sich die Netzwerkdichte deutlich erhöht hat, was zu einem Abbau der durch die Aufdehnung der Dichtlippe erzeugten Radialkraft führt.

### **Einteilung in Veränderungsgrade**

Die Intensität der möglichen Veränderungen sind untenstehend in unterschiedliche Stufen dargestellt. Bis zum Veränderungsgrad 3 liegen eher geringe Einwirkungen vor, welche zur Bewertung von Kurzzeitorientierungstests herangezogen werden können, der Veränderungsgrad 4 zeigt Grenzwerte, wie sie häufig für Langzeitprüfungen zu Grunde gelegt werden, oder wie sich auch als eher konservativen Grenzwert für Lebensdauernachweise angewendet werden können. Der Veränderungsgrad 5 stellt dagegen einen aus anwendungstechnischer Sicht gerade noch als vertretbar eingestuften Vorschlag für einen Lebensdauernachweis dar.

### **Veränderungsgrad 1: Leichte Quellung/Schrumpfung ohne erkennbare Auswirkungen**

Härteänderung in Shore A/IRHD	+/-5
Volumenänderung in %	-3/+5
relative Änderung der Zugfestigkeit in %	+/-10
relative Änderung der Reißdehnung in %	+/-20
relative Änderung des Moduls in %	+/-20

Die festgestellten Änderungen lassen sich ausschließlich durch leichte Quell-/Extraktionsvorgänge erklären, eine signifikante Veränderung in der Netzwerkstruktur ist nicht zu erkennen. Damit lassen diese Ergebnisse im Rahmen der Prüfbedingungen keinerlei kritischen Auswirkungen auf den Dichtungswerkstoff erwarten.

### **Veränderungsgrad 2: Mittlere Quellung/Schrumpfung mit erkennbaren Auswirkungen – aber ohne unzulässige chemische Einwirkung**

Härteänderung in Shore A/IRHD	+5/-10
Volumenänderung in %	-5/+10
relative Änderung der Zugfestigkeit in %	+15/-15
relative Änderung der Reißdehnung in %	+/-20
relative Änderung des Moduls in %	+/-30

Die Auswirkung einer Quellung ist die Reduktion der Festigkeit, eine Erhöhung der Reißdehnung und eine Abnahme in der Härte. Im Vergleich zum Veränderungsgrad 1 werden hier aber Volumenänderungen bis 10% und ein Schwund von max. 5% zugelassen. Bei einer Einlagerung kann auch eine Substitution der Weichmacher durch das umgebende Öl stattfinden. Unter Berücksichtigung aller in Frage kommenden Einwirkungen werden oben gezeigte Grenzwerte noch als unkritisch eingestuft.

### **Veränderungsgrad 3: Mittlere Quellung/Schrumpfung mit erkennbaren Auswirkungen auch bezüglich chemischer Einwirkung**

Härteänderung in Shore A/IRHD	+5/-10
Volumenänderung in %	-5/+10
relative Änderung der Zugfestigkeit in %	+15/-20
relative Änderung der Reißdehnung in %	+20 /-30
relative Änderung des Moduls in %	+/-30

Im Vergleich zum Veränderungsgrad 2 werden hier noch zusätzliche Auswirkungen einer stattgefundenen Alterung, das heißt chemischer Einwirkung mitberücksichtigt. Insgesamt sind die werkstofflichen Veränderungen noch so, dass eine Funktionsbeeinträchtigung dadurch noch nicht erwartet wird.

#### **Veränderungsgrad 4: Mittlere Quellung/Schrumpfung mit starken Auswirkungen**

Härteänderung in Shore A/IRHD	+12/-10
Volumenänderung in %	-5/+10
relative Änderung der Zugfestigkeit in %	+/-30
relative Änderung der Reißdehnung in %	+20/-50
relative Änderung des Moduls in %	+75/-30

Im Vergleich zum Veränderungsgrad 3 hat nun eine erhebliche Alterung stattgefunden. Die gefundenen Veränderungen gelten als eher konservative Festlegung für die maximal zulässigen werkstofflichen Veränderungen, das heißt, bis zu diesem Veränderungsgrad wird davon ausgegangen, dass die Dichtung noch uneingeschränkt funktionsfähig ist.

#### **Veränderungsgrad 5: Mittlere Quellung/Schrumpfung mit sehr starken Auswirkungen**

Härteänderung in Shore A/IRHD	+15/-10
Volumenänderung in %	-5/+10
relative Änderung der Zugfestigkeit in %	+/-50
Mindestwert der Zugfestigkeit, MPa	5 min
relative Änderung der Reißdehnung in %	+50/-70
Mindestwert der Reißdehnung,	50% min.
relative Änderung des Moduls in %	+100/-30

Im Vergleich zum Veränderungsgrad 4 sind die Grenzwerte deutlich großzügiger bemessen als typische Spezifikationswerte für Langzeitprüfungen. Diese Werte stellen daher eher einen etwas forscheren, aber noch vertretbaren Vorschlag für ein Lebensdauerkriterium dar für Lebensdauer-Verträglichkeitsnachweise.