

# FACHWISSEN SCHADENSANALYSE VON ELASTOMERBAUTEILEN

Ein Angebot des

**O RING**

**PRÜFLABOR**

**RICHTER**

PRÜFEN BERATEN ENTWICKELN

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

Stand der Information: 06/2018

## **Falscher Einbauraum – Details können den entscheidenden Unterschied ausmachen**

Autoren:

Dipl.-Ing. Bernhard Richter,

Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Blobner

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

Von den vier Hauptschadensmechanismen werden Montagebeschädigungen der 3. Hauptgruppe zugerechnet:

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

Die 3. Hauptgruppe lässt sich in drei Untergruppen aufteilen: Falscher Einbauraum, Physikalische Überbeanspruchung durch Betriebsbedingungen und Montagefehler. Dieses Fehlerbild gehört folglich zur ersten Untergruppe und verursacht ca. 15% aller Ausfälle bei Elastomerdichtungen (in über 2000 von uns untersuchten Schadensfällen). Es gilt als Hauptursache Nr. 1 bei Dichtungsausfällen und meistens sind es nur Details, die falsch gemacht wurden.

## 2. Fachliches Hintergrundwissen zum Schadensbild

Ein richtig gestalteter Einbauraum ist das A und O für eine funktionierende Dichtung.

Um das Potential von Gummiwerkstoffen voll ausschöpfen zu können, sollten Dichtungen möglichst im Kraftnebenschluss (KNS) eingesetzt werden, damit der Verformungsgrad unabhängig ist von der Anzugskraft der Schraubverbindung. Die dadurch erzeugte Dichtflächenpressung wird dann geometrieabhängig zusätzlich vom Systemdruck erhöht. Dadurch ist zum Beispiel bei O-Ringen die Dichtflächenpressung immer höher als der Systemdruck, was den O-Ring auch zur Hochdruckdichtung bis 400 bar und höher qualifiziert.

Auch bei anderen Dichtungsarten wie zum Beispiel Radialwellendichtringen oder Hydraulikdichtungen kommt dem Einbauraum eine besondere Aufgabe zu, weil diese Dichtungen ebenfalls nur in einem vorgegebenen Verformungszustand des Innen- und / oder Außendurchmessers bzw. des Dichtprofils optimal funktionieren. Neben dem richtigen Verformungsgrad der Dichtung, wird die Dichtfunktion in erheblichem Maße über die Oberflächenqualität des Einbauraums abgesichert.

Elastomere Flachdichtungen sind dagegen für den Krafthauptschluss (KHS) nur begrenzt, das heißt für eher geringe Drücke (< 20 bar) geeignet, da hier geometriebedingt nur eine eingeschränkte Druckaktivierung stattfindet und der Druckbereich der Dichtung sich mit der bei Elastomeren unabdingbaren Druckspannungsrelaxation reduziert.

### 2.1 Verformungsgrad (Verpressung)

Da Elastomere keine ideal elastischen Eigenschaften besitzen sondern sich eher viskoelastisch verhalten, ist das Rückstellvermögen auch abhängig vom Verformungsgrad:

Zu geringe Verformungen führen zu einem schnelleren Verlust des Rückstellverhaltens. Daher werden statische O-Ringe mindestens ca.10% verformt bzw. verpresst, bei anderen Dichtungsgeometrien wie zum Beispiel Rechteckringen kann der Mindestverformungsgrad noch etwas geringer sein, nicht aber unter 5% des Querschnitts.

Ist die Verformung zu hoch, können sich bei erhöhten Temperaturen zu große Spannungen innerhalb der Dichtung ergeben, was zu inneren Spannungsrissen führen kann, welche sich dann nach außen fortpflanzen. Daher müssen die Verformungsgrade der Dichtungen nach oben begrenzt werden. Bei O-Ringen mit kleiner Schnurstärke sind bei Härtegraden von 70 ShoreA durchaus noch 40% möglich, mit zunehmender Schnurstärke nimmt die Anfälligkeit für Spannungsrisse zu. Ein Maß für die Empfindlichkeit gegen Spannungsrisse ist die Reißdehnung eines Werkstoffes, welche immer mindestens 100% betragen sollte. Je höher dieser Wert ist, desto größer ist die Sicherheit gegen Spannungsrisse bei erhöhten Temperaturen. Der maximal mögliche Verformungsgrad kann sich aber auch aus der Montagesituation ergeben, wenn dadurch eine sichere Montage nicht mehr möglich ist. Prinzipiell gilt, dass das elastische Rückstellpotential von Elastomeren nur bei angemessener Verformung (15-35%) auch abgerufen werden kann.

Ein definierter Verformungsgrad ist folglich eine Grundanforderung für eine zuverlässige Dichtungsfunktion. Die Verpressung muss auch bei ungünstigen Toleranzlagen noch ausreichend gewährleistet sein. Deswegen muss im Vorfeld der Anwendung überprüft werden, dass dies auch bei ungünstigsten Toleranzlagen und maximal möglichen Exzentrizitäten sichergestellt ist.

## 2.2 Kantenausführung

Da die Nutmaterialien (z.B. Stahl, Aluminium, glasfaserverstärkte Kunststoffe) um ein Vielfaches härter und steifer sind als Gummimaterialien, müssen unbedingt scharfe Kanten vermieden werden. Diese können nämlich die Dichtung entweder bereits beim Einbau, unter Druckeinwirkung oder in dynamischen Beanspruchungen durch eine Relativbewegung schädigen. Ab einem Kantenradius von 0,05 - 0,1mm spricht man nicht mehr von Scharfkantigkeit.

Scharfe Kanten erzeugen Anrisse, die außen am Elastomerbauteil beginnen und sich dann unter Betriebsbedingungen fortpflanzen können.

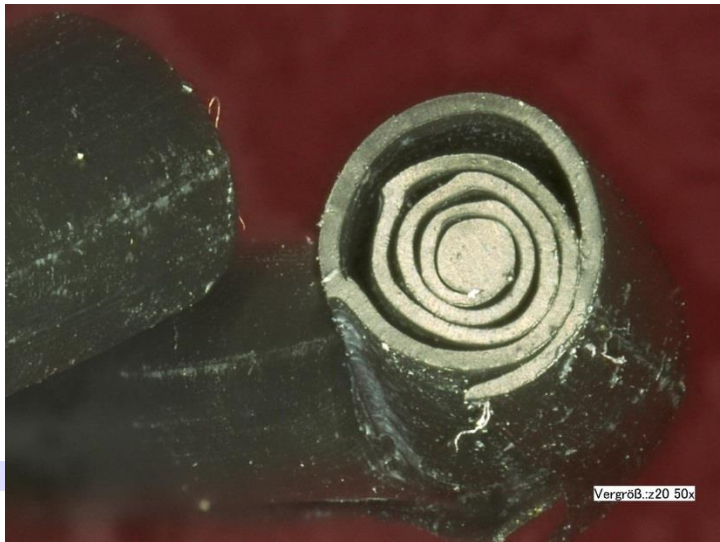
## 2.3 Oberflächen

Bei der Wahl der geeigneten Nut- bzw. Flanschoberfläche muss zwischen statischen und dynamischen Dichtungen unterschieden werden. Bei statischen Dichtungen geht es letztlich um das Maß an Dichtheit, das erzielt werden soll. Dies wird üblicherweise mittels einer normierten Gasleckrate definiert. Die unterste Anforderungsstufe ist eine Fluiddichtheit, welche mit einer Gasleckrate von  $10^{-2}$  mbar l/s als abgesichert gilt. O-Ringe haben aber ein Potential bis zu  $10^{-6}$  mbar l/s und höher. Will man dies sicher ausschöpfen, sollte man neben den üblichen Oberflächenkennwerten zusätzlich auch die Struktur der Oberfläche (und damit das Bearbeitungsverfahren) vorgeben. Querstrukturen zur Umfangsrichtung sind zu vermeiden. Diese können teilweise bereits in Fluidsystemen zusammen mit dynamischen Spaltänderungen durch Schwingungen oder Druckstöße zu Schwitzleckagen führen.

Bei dynamischen Dichtungen soll die Oberflächengüte ein Minimum an Reibung und Verschleiß sicherstellen. Dazu ist neben der Rautiefe auch der Traganteil von Bedeutung. Dieser ist der tragende Anteil einer bearbeiteten Fläche in Bezug auf die Gesamtoberfläche. Bei dynamischen Dichtungen sollte er größer 50% betragen.

## 2.4 Spaltmaße

Unabhängig von dem Einfluss der Spaltmaße bezüglich Exzentrizität (lokale Reduktion der Verformung, siehe oben), muss sichergestellt sein, dass es unter maximaler Druckeinwirkung zu keiner unzulässigen Spalteinwirkung kommt. Zur Überprüfung bieten Dichtungshersteller Diagramme an, welche für unterschiedliche Werkstoffhärten und Druckmaxima einen maximal zulässigen Spalt ausweisen. In Zweifelsfällen sind Stützringe vorzusehen oder höhere Werkstoffhärten zu wählen.



**Abb. 1:** Auswirkung einer scharfkantigen Nutausführung der O-Ring schält sich an der Nutkante ab, hier unter Einwirkung von 350 bar bei einem Spalt von 0,05 mm

## 2.5 Nutfüllung

Da Elastomere in erster Näherung als inkompressibel betrachtet werden können, muss der Einbauraum immer mehr Volumen anbieten, als die Dichtung im ungünstigsten Fall haben kann. Dabei ist eine mögliche Quellung der Dichtung zu berücksichtigen. Typische volumetrische Nutfüllgrade liegen zwischen 65-85%, auf keinen Fall sollte der theoretisch maximale Nutfüllgrad höher als 95% betragen. Ein zu hoher Nutfüllgrad erhöht das Montagerisiko (Schädigung oder Abquetschen der Dichtung) und kann zu einer eingeschränkten Druckaktivierung führen. Der Nutfüllgrad wird in der Regel über die Nutbreite eingestellt.

RICHTER

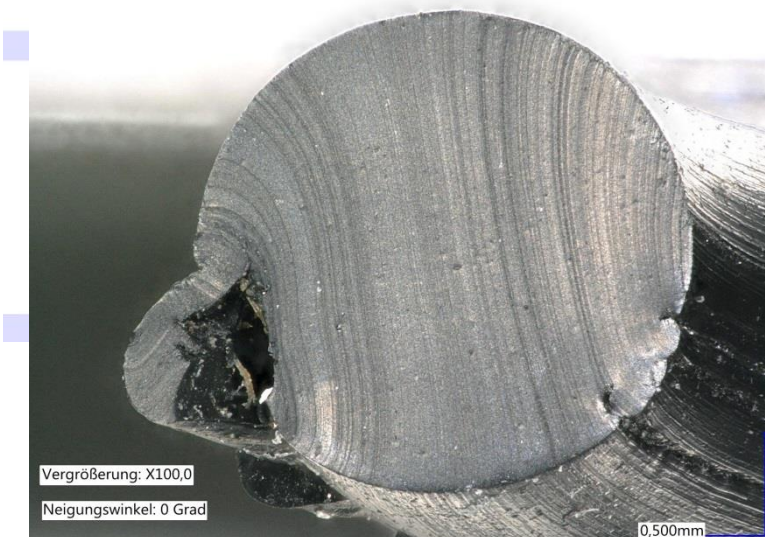
### 3. Schadensbild

#### 3.1 Beschreibung des Schadensbildes und problematischer Bereiche

Eine klassische Nutüberfüllung ist an abgequetschten (schon bei der Montage) oder ausgefransten Rändern zu erkennen. Typisch für dieses Schadensbild sind beidseitige Materialaustriebe.



**Abb. 2:** O-Ring Querschnitt nach einer klassischen Nutüberfüllung: Oben und unten sind die abgequetschten Bereiche zu erkennen



**Abb. 3:** O-Ring Querschnitt nach einer Nutüberfüllung: Links ist der abgequetschte Bereich zu erkennen

Im Fall von zu großen Verformungen entstehen Spannungsrisse im Inneren der Dichtung und wachsen dann nach außen.

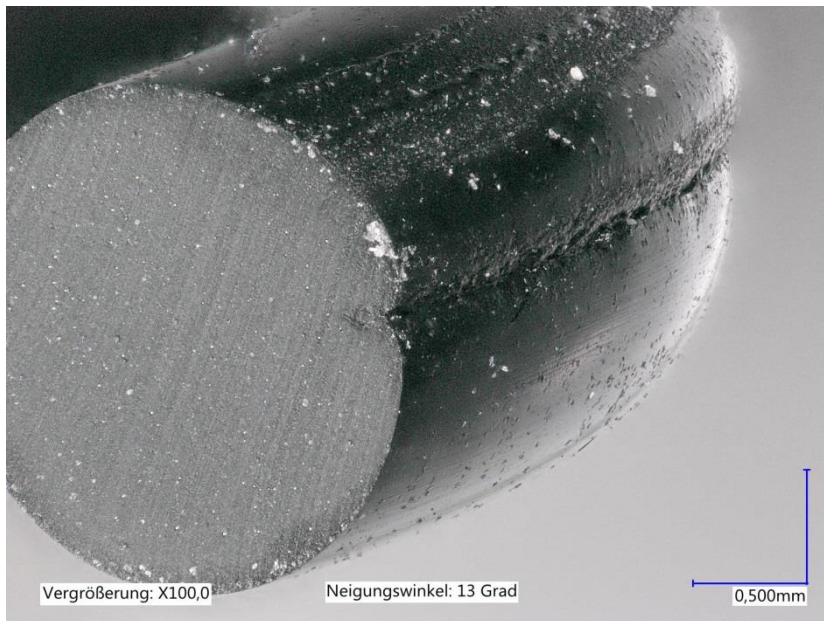


**Abb. 4:** EPDM O-Ring, zerstört durch zu hohe Verformung und thermische Einwirkung (Spannungsrisse)

Bei Schäden durch scharfkantige Einbauträume zeigen sich oft auffällig geradlinige Einschnitte.



**Abb. 5:** Einschnitt an einer Membran durch eine scharfe Kante im Einbauraum



**Abb. 6:** Einschnitt verursacht durch eine scharfe Kante in einem Einschraubloch (Nutaußendurchmesser) einer Hydraulikverschraubung

Bei Dichtungsausfällen durch eine schlechte Oberflächenstruktur oder zu wenig Verpressung ist oft keine Schädigung an der Dichtung zu erkennen. Dieser Fehler muss durch eine Analyse des Umfeldes (Nutoberfläche, Nachberechnung der Toleranzlagen und Dichtungsverpressung) ermittelt werden.



**Abb. 7:** Dieser Ausfallgrund durch eine ungeeignete Oberflächenstruktur der Nut kann bereits klar im Mikroskop erkannt werden, da sich die schlechte Oberfläche sichtbar auf dem Elastomer abgedrückt hat: Die Leckage entsteht durch die tiefen Riefen in der Nut

### 3.2 Auswirkungen des Schadens

Meist führen falsche Einbauräume zu Ausfällen bereits nach kurzen Betriebsdauern, da die Schädigung gleich zu Beginn eintritt. Die Ausfallursache sind in der Regel größere Leckagen.

Es gibt aber auch Schadensfälle mit geringen Leckagen, sogenannten Schwitzleckagen, welche durch ungeeignete Oberflächen verursacht werden. Diese treten oft erst nach mehre-

ren hundert Betriebsstunden auf. Bei minimalen Gasleckagen durch eine schlechte Nutoberfläche gestaltet sich die Erkennung schwieriger. Hierfür sind empfindliche Dichtheitsmessungen erforderlich, wie z.B. die Druckdifferenzmethode oder Heliumlecktests.

### 3.3 Abgrenzung zu ähnlichen Schadensbildern

Das Schadensbild, das durch scharfkantige Einbauräume entsteht, kann genauso gut durch eine Montagebeschädigung<sup>1</sup> oder einen Herstellungsfehler<sup>2</sup> verursacht sein. Treten diese Art von Einschnitten/Rissen an einer Dichtung auf, müssen die drei Fehlermöglichkeiten falscher Einbauraum, fehlerhafte Montage und Herstellung näher untersucht werden. Vorgegangen wird hier – wie so oft in der Schadensanalyse – nach dem Ausschlussprinzip. Ist der Einbauraum in Ordnung, kann es sich nur noch um einen Montage- oder Herstellungsfehler handeln.

## 4. Präventionsmaßnahmen

Die wohl einfachste und effektivste Präventionsmaßnahme ist die Schulung von Dichtungsanwendern, v.a. in der Konstruktion. Die hierfür notwendige zu investierende Zeit mag manche Führungskraft abschrecken, jedoch tragen funktionierende und nachhaltige Dichtungssysteme sehr zum wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens bei.

Außerdem sollten keine bestehenden Dichtungslösungen eins zu eins für neue Anwendungen kopiert werden. Auch kleinste Änderungen können gravierende Auswirkungen haben.

Wenn Oberflächenbearbeitungsmethoden umgestellt werden, sollte immer überprüft werden, ob sich dadurch die Funktionalität der Oberfläche geändert hat. Bei Anwendungen mit grenzwertigen Oberfläche (z.B. zu große Rauheit) kann u.U. eine weichere Dichtung Abhilfe schaffen, allerdings auf Kosten einer höheren Anfälligkeit für Spaltextrusion.

<sup>1</sup> Weiterführende Informationen: RICHTER, B. und BLOBNER, U.: Fachwissen Schadensanalyse von Elastomerbauteilen: Montagebeschädigungen – Die oftmals unterschätzte Schadensursache, 02/2018, Onlineveröffentlichung:

[http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen\\_schaden\\_montageschaeden\\_02\\_2018.pdf](http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_schaden_montageschaeden_02_2018.pdf)

<sup>2</sup> Weiterführende Informationen: RICHTER, B., BLOBNER, U. und RICHTER, Timo: Fachwissen Schadensanalyse von Elastomerbauteilen: Risse durch Herstellungsprobleme – Ein gravierender Fehler, der oft zum Dichtungsauffall führt, 10/2017, Onlineveröffentlichung:

[http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen\\_schaden\\_herstfehler\\_risse\\_10\\_2017.pdf](http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_schaden_herstfehler_risse_10_2017.pdf)



## 5. Praxistipps (Prüfmöglichkeiten / Normempfehlungen)

Für die korrekte Gestaltung von Einbauräumen gibt es eine Vielzahl an Literatur und Empfehlungen.

An erster Stelle seien die einschlägigen Normen genannt. Für O-Ringe ist es die **ISO 3601-2** (Ausgabe 2016-07: Fluid power systems – O-rings – Part 2: Housing dimensions for general applications). Die deutschsprachige Variante dieser englischsprachigen ISO-Norm ersetzt die weithin bekannte **DIN 3771-5** (Ausgabe 1993-11).

Für andere Dichtungsformen sind folgende Normen aktiv.

- Einbauräume für Kolben- und Stangendichtungen in Hydraulikzylindern: **ISO 5597** (Ausgabe 2018-05): *Hydraulic fluid power – Cylinders - Dimensions and tolerances of housings for single-acting piston and rod seals in reciprocating applications*
- Einbauräume für Abstreifer in Zylindern: **ISO 6195** (Ausgabe 2013-02): *Fluid power systems and components - Cylinder-rod wiper-ring housings in reciprocating applications - Dimensions and tolerances*
- Einbauräume für Kolbendichtungen mit Führungsringen: **ISO 6547** (Ausgabe 1981-08): *Hydraulic fluid power -- Cylinders -- Piston seal housings incorporating bearing rings -- Dimensions and tolerances*
- Einbauräume für gummi vorgespannte Kunststoffdichtungen: **ISO 7425** (Ausgabe 1989-12): *Hydraulic fluid power -- Housings for elastomer-energized, plastic-faced seals -- Dimensions and tolerances -- Part 2: Rod seal housings*
- Radialwellendichtringe: **ISO 6194-1** (Ausgabe 2007-09, chapter 8 housings): *Rotary shaft lip-type seals incorporating elastomeric sealing elements - Part 1: Nominal dimensions and tolerances*

Und schließlich existiert noch eine rein deutsche DIN-Norm für Radialwellendichtringe, die **DIN 3760**, welche im September 1996 herausgegeben wurde. Im Kapitel 7 werden „Richtlinien für den Einbau“ beschrieben.

Neben den Normen bieten viele Dichtungshersteller hilfreiche Informationen zur Gestaltung von Einbauräumen. Diese gibt es in gedruckter und digitaler Form (z.B. O-Ring Handbücher), aber auch als Berechnungsprogramme.

## 6. Sonstiges

Dieser Artikel erscheint in einer Kurzfassung in der Zeitschrift DICHT!, Ausgabe 03/2018.