

FACHWISSEN SCHADENSANALYSE VON ELASTOMERBAUTEILEN

Ein Angebot des

O RING

PRÜFLABOR

RICHTER

PRÜFEN BERATEN ENTWICKELN

Quelle: www.o-ring-prueflabor.de

Stand der Information: 02/2018

Version 1

Montagebeschädigungen – Die oftmals unterschätzte Schadensursache

Autoren:

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

1. Einordnung und Häufigkeit des Schadensbildes

Von den vier von uns klassifizierten Hauptschadensmechanismen werden Montagebeschädigungen der 3. Hauptgruppe zugeordnet:

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, wobei letztere Untergruppe innerhalb der mechanische/physikalisch verursachten Schäden prozentual die kleinste Gruppe ausmacht.

Aus einer Auswertung von über 2000 im O-Ring Prüflabor Richter bearbeiteten und analysierten Schadensfällen sind Montagebeschädigungen in ca. 10 % der Fälle Ausfallgrund einer Dichtung gewesen.

O-Ring Prüflabor Richter GmbH
Kleinbottwarer Str. 1
71723 Großbottwar

Telefon 07148 / 16602-0
Fax 07148 / 16602-299
info@o-ring-prueflabor.de
www.o-ring-prueflabor.de

Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Bernhard Richter
Ust-ID-Nr. DE 277600966
Steuer-Nr. 71342/02407 FA LB

Sitz der Gesellschaft:
Großbottwar
Amtsgericht Stuttgart
HRB 737482

Volksbank Ludwigsburg
IBAN DE96 6049 0150 0820 5810 03
SWIFT GENODES1LBG

2. Fachliches Hintergrundwissen zum Schadensbild

Durch eine montagefreundliche Gestaltung von Einbauräumen, durch die Verwendung von Montagefetten und Beschichtungen und durch den Einsatz von Montagehilfsvorrichtungen kann das Risiko von Montagebeschädigung von O-Ringen und anderen Elastomerdichtungen weitgehend ausgeschlossen werden. Dass es dennoch regelmäßig zu Ausfällen durch Montagebeschädigungen kommt, zeigt, dass diese Thematik oft unterschätzt wird. In der Praxis geht es dann darum, die Ausfallbilder richtig zu interpretieren um dann auch den wirklichen Verursacher zu identifizieren.

Vor der Montage von Gummibauteilen muss sichergestellt werden, dass die notwendige Bauteilsauberkeit, Zeichnungsvorgaben und vereinbarte Montageabläufe eingehalten werden. So ist es wichtig, dass die Nuten, in welche das Elastomerbauteil eingebaut werden soll, frei von Verunreinigungen und Herstellungsrückständen wie z.B. Metallspänen sind.¹ Aber auch die Sauberkeit der Dichtungen selbst ist zu beachten. So schreibt WÖßNER in seiner 1993 veröffentlichten Dissertation *Automatische Montage von O-Ringen*: „Wie aus der Analyse hervorgeht, treten bei der manuellen Montage hauptsächlich Fehler aufgrund verschmutzter Basisteile auf“.²

2.1 Schäden durch fehlende Schmierung oder ungeeignete Gleitmittel

Fehlt eine für die Montage vorgesehene Gleitbeschichtung oder wurde die Beölung einer Dichtung vor der Montage vergessen, kann dies zu Problemen führen, wie Abquetschungen, Materialausbrüchen, Rissen oder verdrillten Dichtungen.

Hinzu kommt, dass der Montagevorgang durch die fehlende Schmierung nicht reproduzierbar ist, da er von Charge zu Charge der Dichtungen schwanken kann.

Auf den Schadensmechanismus Quellung, verursacht durch ungeeignetes Öl oder Fett, soll hier nicht näher eingegangen werden, da er unter dem Schadensbild „Chemischer Angriff und Quellung“ näher beschrieben ist.³ Jedoch soll nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden, dass auch der kurze und meist nur geringe Kontakt mit ungeeigneten Montageöl-Elastomer-Paarungen zu verstärkten Quellungen führen kann, die eine Montage behindern oder fehlerhaft werden lassen können.

2.2 Montagebedingte (Ab)Quetschungen und Abdrücke des Gehäuses

In der Regel werden Produkte aus Elastomeren in Bauteilen eingesetzt, die eine vielfach größere Härte als die Gummidichtelemente haben. Auf Grund der hohen Elastizität von Dichtungen und der hohen Steifheit von metallenen Flanschen, kann es zu Abquetschungen kommen, die während des Montagevorganges nicht auffallen.

Abquetschungen sind relativ leicht zu erkennende Montagebeschädigungen, die durch Fehlpositionierungen bei der Montage entstehen. Die gequetschten Bereiche können entweder

¹ Vgl. Firmenschrift von Busak+Shamban: O-Ring, Ausgabe März 2005, S. 39 (Webseite abgerufen am 27.12.2017: https://www.uni-kassel.de/maschinenbau/fileadmin/datas/fb15/IMK/LMT/Download/Normen/katalog-O-Ring_Busak_Shamban.pdf)

² WÖßNER, Johannes F.: *Automatische Montage von O-Ringen*, Springer Verlag, 1993, S.86

³ RICHTER, Bernhard und BLOBNER, Ulrich: *Fachwissen Schadensanalyse: Chemischer Angriff und Quellung*, Ausgabe 06/2017

Onlineveröffentlichung: http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_schaden_chemangriff_quel_06_2017.pdf

noch mit der restlichen Dichtung verbunden sein, oder bereits vollständig von dieser getrennt sein. Sie unterscheiden sich zu betriebsbedingten Spaltextrusionsfahnen dadurch, dass sie deutlich dicker als diese sind. Außerdem sind auf gequetschten Stellen mitunter Abdrücke des Gehäuses zu erkennen. Selbst wenn die Dichtung dadurch nur leicht dabei beschädigt wird, kann es sein, dass der abgequetschte Gummipartikel zwischen Deckel und Gehäuse eingeklemmt wird, das heißt im Krafthauptschluss liegt. Erfolgt dann eine physikalische Relaxation dieses eingeklemmten Partikels, also wenn dieser an zu kriechen anfängt, wird die Schraubenverbindung locker, was dann zur Undichtheit führen kann. Deshalb ist bei der Auslegung von Dichtungen bzw. Dichtungsnuten bereits darauf zu achten, dass die Dichtung zwischen Montage derselben und dem Fügen der beiden abzudichtenden Bauteile sicher positioniert ist. Dazu können beispielsweise Haltenoppen an der Dichtung beitragen. Auch besondere Nutformen (halbe oder ganze Trapeznut) können dabei helfen, auch wenn das eine eher teurere Möglichkeit darstellt.

Eine weitere Form der Abquetschung tritt dann auf, wenn ein Kolbenteil in ein Zylinderteil gesteckt wird und das Kolbenteil schlecht geführt ist bzw. schräg in das Zylinderteil eingetaucht werden kann (**Abb. 1**).

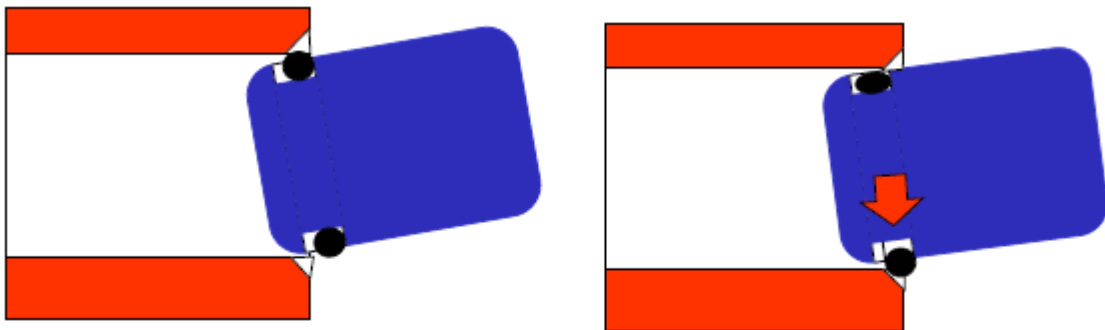


Abb. 1: Nicht korrekte Montage eines Kolben in einen Zylinder: Der O-Ring hebt durch die Verkantung im unteren Bereich ab und wird abgesichert (Bild: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

Dabei wird das durch die Verformung der Dichtung verdrängte Material in Umfangsrichtung verschoben, was zu einem partiellen Abheben der Dichtung an der gegenüberliegenden Stelle führen kann. Damit steigt das Risiko für eine Montagebeschädigung bzw. ein partielles Abscheren der Dichtung stark an. Lässt sich dieses schräge Einführen des Einsteckteils z.B. nicht durch eine Montagehilfsvorrichtung vermeiden, sollte die Dichtung mit einer hohen installierten Innendurchmesseraufweitung vorgesehen werden. Erfahrungen zeigen, dass z.B. O-Ringe mit ca. 70 IRHD-M bei einer installierten Innendurchmesseraufweitung von 20-25% sich sehr robust gegen dieses Schadensbild zeigen, weil die hohe Dehnung zu einem hohen Verformungswiderstand in Umfangsrichtung führt und sich das verdrängte Dichtungsmaterial in axialer Richtung hin verschiebt.

2.3 Materialausbrüche und -risse

Da Gummidichtungen während des Montageprozesses erheblich verformt werden müssen, können die dazu erforderlichen hohen Montagekräfte, ganz besonders bei nicht geschmierter Montage, zu hohen Linienpressungen an den Kanten des Einbauraumes führen. Sind diese

Kanten nicht sauber abgerundet bzw. angefast, kann dies bereits bei der Montage zu einem Einschnitt führen.

2.4 Beschädigung durch zu starkes Aufweiten (Außenmontage)

Die in Datenblätter angegebenen Belastungsgrenzen von Dichtungswerkstoffen bezüglich Reißdehnung stellen für die Montage unzulässig hohe Beanspruchung dar. Als Obergrenze sollten möglichst 50% der Reißdehnung nicht überschritten werden. Die inhomogene Struktur von Dichtungswerkstoffen führt dazu, dass die relative Standardabweichung bei der Reißdehnung bei noch kontrollierter, planmäßiger Produktion bis 15% der mittleren Reißdehnung betragen kann. Der Sicherheitsabstand sollte mindestens das 3-fache der Standardabweichung sein, womit man auf max. 55% der mittleren Reißdehnung kommt. Sehr schnelle Aufweitungen erhöhen das Risiko für Risse, weil dies auch zu höheren Spannungen führt.

Bei der automatischen Montage von O-Ringen werden häufig Anlagen mit sechs Spreizfingern verwendet, „die den Dichtring zu einem Sechskant aufweiten. Die »Schlüssel­fläche« des Sechskants muss so groß sein, dass das Füge­teil, ohne den Ring zu beschädigen, hindurchpasst. Dadurch muss die Dichtung sehr stark aufgeweitet werden.“⁴

Werden weniger Spreizfinger verwendet, so steigt die notwendige Aufweitung, um die gewünschte »Schlüssel­fläche« zu bekommen.

Lassen sich hohe Montageaufweitungen nicht vermeiden, sollte auf eine genügende Relaxationszeit nach der Montage geachtet werden.⁵

2.5 Verdrillte Dichtung

Dieser Fehler tritt vor allem bei O-Ringen auf. Labile O-Ringe (kleine Schnurstärke, großer Innendurchmesser) haben die Tendenz sich bei der Montage zu rollen bzw. zu verdrillen.⁶ Oder anders ausgedrückt: Bei bestimmten Abmessungen ist es fast nicht möglich, O-Ringe ganz ohne Verdrillung zu montieren. Da der Gratbereich der O-Ringe nach ISO 3601-3 nur begrenzte Vertiefungen haben darf, können O-Ringe in vielen Anwendungen ohne Probleme im verdrillten Zustand problemlos funktionieren, dabei wird eine „natürliche“ Verdrillung als maximal eine Umdrehung auf der gesamten Umfangslänge betrachtet.

Durch die Walkarbeit der O-Ringe bei der Druckaktivierung in Hochdruckanwendungen verdrillen sich O-Ringe leicht in sich. Daher wird eine Verdrillung durch die Montage erst dann als Montagefehler eingestuft, wenn entweder eine bezüglich Gasdichtheit sehr anspruchsvolle O-Ring Anwendung vorliegt, oder die Verdrillung mehr als eine Umdrehung auf der ganzen Umfangslänge beträgt.

⁴ JÜLICHER, F.-W.: Dichtungsmontage automatisch – aber richtig! in: KIEFER, S. und BERGER, K.-F. (Hrsg.): Dichtungstechnik Jahrbuch 2010, ISGATEC, Mannheim, 2009, S. 289

⁵ Vgl. PARKER-PRÄDIFA: O-Ring Handbuch, Ausgabe 07/2015, S.19 (Online verfügbar: https://www.parker.com/literature/Praedifa/Catalogs/Catalog_O-Ring-Handbook_PTD5705-DE.pdf)

⁶ Vgl. PARKER-PRÄDIFA: O-Ring Handbuch, Ausgabe 07/2015, S.19 (Online verfügbar: https://www.parker.com/literature/Praedifa/Catalogs/Catalog_O-Ring-Handbook_PTD5705-DE.pdf)

2.6 Beschädigung durch gestörte Zuführung bei automatischer Montage

Bei der automatischen Zuführung von Dichtungen können nicht formstabile Dichtungen Probleme bereiten. „Diese Dichtringe werden von Haus aus als „groß“ bezeichnet, womit im Wesentlichen das ungünstige Schnurstärken-Durchmesser Verhältnis gemeint ist. Die Ringe laufen in Vibrations-Wendelförderern nur bedingt, die Gefahr des Ineinanderlaufens und der Haufenbildung ist groß.“⁷

Durch extreme Verformungen der Dichtungen bei einem Materialstau in der Fördereinheit kann es zu Beschädigungen von Beschichtungen kommen, wodurch die Montagesicherheit reduziert wird. Oder es kommt im schlechtesten Fall zu einer Beschädigung der Dichtung selbst, die vor der Montage nicht mehr bemerkt wird.

2.7 Unerlaubte manuelle Beschädigungen

Dies ist eine oft schwierig aufzuklärende Ursache. Da die durch einzelne Werker bzw. Hilfskräfte verursachten Schäden meist nicht systematisch sind, muss durch bestmögliches Eingrenzen des Montagezeitraumes und durch geschicktes Fragen und Kombinieren des Schadensanalytikers die Ursache gesucht werden. Besonders solche Fälle erfordern ein hohes Maß an Erfahrung und Kenntnis des Produktionsalltages, um zu einer belastbaren Schadenshypothese zu gelangen.

3. Schadensbild

3.1 Beschreibung des Schadensbildes und problematischer Bereiche

Charakteristisch für einen Ausfall durch einen Montagefehler ist die kurze Betriebsdauer (meistens <100 h) bis zum Ausfall. Da dies auch charakteristisch für herstellungsbedingte Fehler ist, gilt es häufig, diese beiden Fehlerbilder gegeneinander abzugrenzen. Vereinzelt ähnelt auch das Schadensbild von Spaltextrusion durch zu hohe Drücke und zu großem Spaltmaß dem der Montagebeschädigung (Abquetschung durch Fehlpositionierung).

3.1.1 Schadensbild Quetschungen“ durch Fehlpositionierung

Abquetschungen (siehe **Abb. 2 und 3**) sind relativ leicht zu erkennende Montagebeschädigungen, die durch Fehlpositionierungen bei der Montage entstehen. Die gequetschten Bereiche können entweder noch mit der restlichen Dichtung verbunden sein, oder bereits vollständig abgequetscht, also von dieser getrennt sein. Sie unterscheiden sich von betriebsbedingten Extrusionsfahnen dadurch, dass sie um ein Vielfaches dicker als diese sind. Außerdem sind auf gequetschten Stellen mitunter Abdrücke des Gehäuses zu erkennen.

⁷ JÜLICHER, F.-W.: Dichtungsmontage automatisch – aber richtig! in: KIEFER, S. und BERGER, K.-F. (Hrsg.): Dichtungstechnik Jahrbuch 2010, ISGATEC, Mannheim, 2009, S. 287



Abb. 2: Quetschung durch Fehlpositionierung der Dichtung



Abb. 3: O-Ring mit, während der Montage, gequetschtem Bereich

3.1.2 Schadensbild „Materialausbrüche und -risse“

Dies ist wohl der am häufigsten vorkommende Montagefehler. Es „handelt es sich meist um Gewaltbrüche, die eine regelmäßige, eher leicht raue Bruchfläche aufweisen, der Grad der Rauheit hängt auch vom Weiterreißwiderstand des Werkstoffes ab. Herstellungsbedingte Brüche hingegen zeigen inhomogene, häufig auch reliefartig erhabene Bereiche in der Bruchfläche. Der Rissausgang bei Montagerissen lässt einen auffällig geradlinigen Beginn

erkennen (siehe **Abb. 7 und 8**), auch zeigt sich bei Beschädigungen durch scharfkantige Einbauräume kein gerundeter Übergang von der Oberfläche in den Riss, bei leicht gerundeten Kanten zeigt sich ein Abdruck und/oder eine leichte plastische Verformung. Montagebedingte Risse zeigen typische belastungsbedingte Rissverläufe, welche sich aus dem Einbauraum und dem Montageablauf erklären lassen.⁸

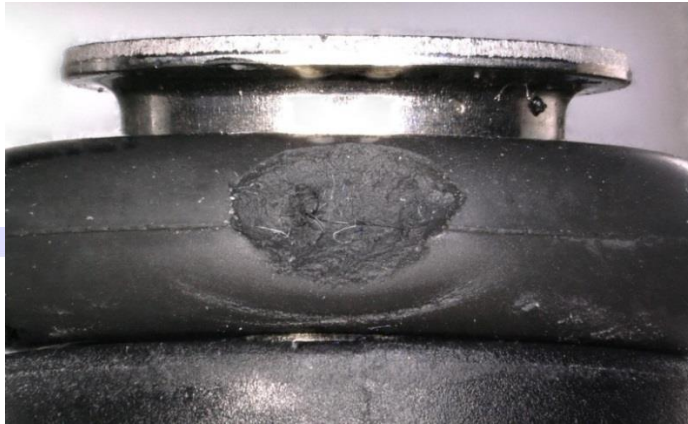


Abb. 4: Materialausbruch durch die Montage:

Da Gummidichtungen während des Montageprozesses erheblich verformt werden müssen, können die dazu erforderlichen hohen Montagekräfte, ganz besonders bei nicht geschmierter Montage, zu erheblichen Linienpressungen an den Kanten des Einbauraumes führen. Sind diese Kanten dann nicht sauber ausgerundet bzw. angephast, kann dies bereits bei der Montage zu einem Einschnitt führen, siehe **Abb. 7**.



Abb. 5: Durch die Montage abgescherter Teil eines O-Rings

⁸ RICHTER, Bernhard; BLOBNER, Ulrich und RICHTER, Timo: Fachwissen Schadensanalyse: Risse durch Herstellungsprobleme, Ausgabe 10/2017, S.17, Onlineveröffentlichung: http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_schaden_herstfehler_risse_10_2017.pdf

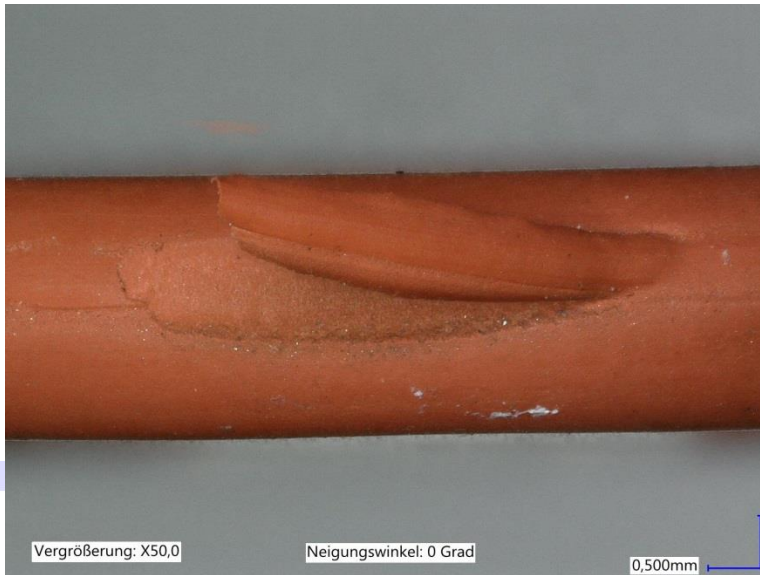


Abb. 6: Abscherung beim nichtzentrischen Einführen durch eine lokale Materialanhäufung



Abb. 7: Montagededingter Riss durch das Einwirken einer scharfen Kante im Einbauraum

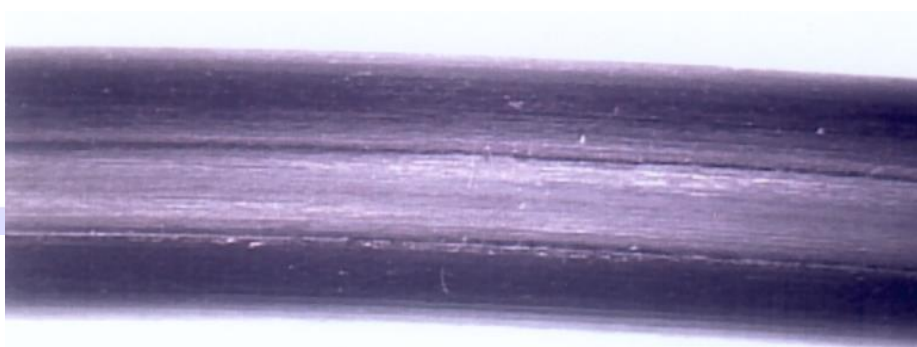


Abb. 8: Riss, entstanden durch eine scharfe Kante beim Einbau

3.2 Auswirkungen des Schadens

Die Auswirkungen von Montagebeschädigungen können sehr vielfältig sein. Während kleinere Beschädigungen in vielen Fällen nicht oder erst bei Wartungsintervallen bemerkt werden, können Risse, großflächige Materialausbrüche oder verdillte Ringe schnell zu Undichtheiten oder Totalausfällen des Dichtsystems führen.

Gerade nicht systematische Montagebeschädigungen sind bei anspruchsvollen Anwendungen eine sehr kritische und oft schwer zu behebende Schadensursache.

3.3 Abgrenzung zu ähnlichen Schadensbildern

Wie oben erwähnt, besteht die Herausforderung für den Dichtungsspezialisten darin, den Montagefehler klar abzugrenzen vom Herstellungsfehler, teilweise auch zum Gewaltbruch durch eine montagebedingte Überbeanspruchung, z.B. durch zu hohe Aufweitungen. Die Abgrenzung gegenüber anderen Schadensmechanismen kann dagegen oft allein aufgrund der Zeit bis zum Ausfall vorgenommen werden, die bei Montagefehlern sehr gering ist.

Im Folgenden sollen nur montagebedingte Risse zu herstellungsbedingten auf Grund fehlerhafter Vulkanisation abgegrenzt werden. So kann nämlich rechtzeitig im Vorfeld bei der sehr kritischen Fehlerart „Risse“ die richtige Weichenstellung getroffen werden.

3.3.1 Abgrenzung zu Herstellungsrissen auf Grund fehlerhafter Vulkanisation

„Bei einer fehlerhaften Vulkanisation können sich neben der inhomogenen Bruchfläche auch Fließlinien auf der Dichtung zeigen. Dies sichert dann die Annahme von Herstellungs-mängeln als Rissursache ab. (...)

Risse, die von Fließlinien herrühren, verlaufen oft parabelförmig und symmetrisch zur Formtrennebene (siehe **Abb. 9**). Bei einer fehlerhaften Vulkanisation zeigt sich im Bereich der Bruchstelle meist eine inhomogene Bruchstelle (siehe **Abb. 10**), mitunter finden sich auch auffällig glatte Bereiche in der Bruchfläche. Typisch für Risse durch Vulkanisationsfehler ist auch ein gerundeter Übergang von der Oberfläche zum Riss (siehe **Abb. 11**) im Vergleich zu einem Schadensfall durch Schnittverletzung.“⁹

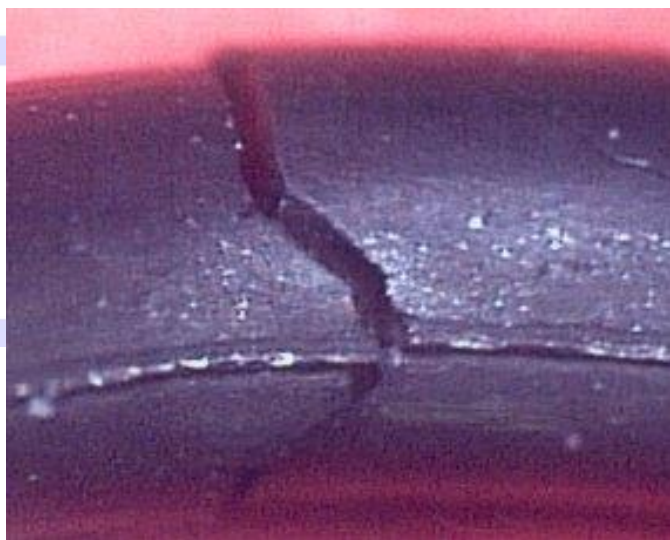


Abb. 9: Herstellungsbedingter Riss, parabelförmig und symmetrisch zur Formtrennebene

⁹ RICHTER, Bernhard; BLOBNER, Ulrich und RICHTER, Timo: Fachwissen Schadensanalyse: Risse durch Herstellungsprobleme, Ausgabe 10/2017, S.6ff., Onlineveröffentlichung: http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_schaden_herstfehler_risse_10_2017.pdf



Abb. 10: Gerissener O-Ring wegen eines Vulkanisationsfehlers: Inhomogene, zerklüftete Bruchfläche



Abb. 11: Herstellungsbedingter Vulkanisationsfehler: Gerundeter Rissübergang

Weiterführende Informationen zur Abgrenzung gegenüber anderen Rissarten als Herstellungsrissen (wie z.B. Ozon- oder Ermüdungsrissen), können in dem Artikel Fachwissen Schadensanalyse „Risse durch Herstellungsprobleme“¹⁰ nachgeschlagen werden.

4. Präventionsmaßnahmen

Für die Vermeidung von Montagefehlern bei O-Ringen, sei hier auf die ISO 3601-2 verwiesen, insbesondere was die Ausführung von Einführschrägen und Kantenradien betrifft. Diese Vorgaben können auch für andere Dichtungen als Richtwerte gelten. Hilfreich für die Praxis

¹⁰ RICHTER, Bernhard; BLOBNER, Ulrich und RICHTER, Timo: Fachwissen Schadensanalyse: Risse durch Herstellungsprobleme, Ausgabe 10/2017, S.14-18, Onlineveröffentlichung: http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_schaden_herstfehler_risse_10_2017.pdf

sind oft auch Herstellerangaben und -hinweise. Darüber hinaus wird insbesondere Konstrukteuren empfohlen, das Angebot an Fachseminaren¹¹ in Anspruch zu nehmen.

Einführschrägen sollten zwischen 15° und 20° Schräge aufweisen. Scharfe Kanten und Übergänge müssen beseitigt werden. Dies sollte auch explizit in der Zeichnung vermerkt sein.

Kolben mit außen montierten Dichtungen, die in Zylinder eingeschoben werden sollen, müssen eine genügend lange Führung vor der Dichtung aufweisen, um ein Verkanten bei der Montage zu vermeiden. (siehe **Abb.1**)

Bei der Planung einer automatischen Montage empfiehlt es sich mit Automatisierungsfirmen zusammenzuarbeiten, die bereits Erfahrung mit der Montage von Gummiteilen haben. Es ist ein Zeichen von Kompetenz, wenn die Unternehmen aus der Automatisierungsbranche in der Konzeptionsphase nicht nur Dichtungen, sondern auch ein Werkstoffdatenblatt anfordern.

Vor der Montage sollte überprüft werden, ob die Nuten sauber und frei von Verunreinigungen, wie z.B. Spänen, sind.

Um definierte und reproduzierbare Bedingungen bei der Montage zu erhalten, empfiehlt sich die Verwendung eines geeigneten Gleitmittels.

Bei der Innenmontage sollte die Überführung von Bohrungen vermieden werden. Lässt sich diese nicht vermeiden, sollten die Bohrungen entweder gut entgratet oder noch besser konstruktiv aus der Gleitebene der zu montierenden Dichtung mit „kegeligen Übergängen zurückversetzt“¹² werden. Außerdem gibt es auch die Möglichkeit durch eine Montagehülse die Bohrung während des Einführens der Dichtung abzudecken.¹³

Bei der Innenmontage kann es mitunter notwendig werden, die Dichtung einzurollen, um sie in die Bohrung zu bekommen. Wichtig ist darauf zu achten keine lokalen Spannungsspitzen zu erzeugen. Bewährt hat sich die Nierenform¹⁴, wird diese mit Hilfe einer vorgefertigten Lehere erzeugt, kann man durch großzügig bemessene Radien sicherstellen, dass die Dichtung lokal nicht überstrapaziert wird. Bei der Verwendung von Greifzangen ist größere Vorsicht geboten und mehr Erfahrung notwendig.

Bei der Außenmontage ist darauf zu achten, dass die Dichtung nicht überdehnt.

Generell empfiehlt sich zur Montage und Demontage von O-Ringen Spezialwerkzeug mit abgerundeten Kanten, die eine Verletzung der Dichtungen vermeiden. Auf dem Markt werden verschiedene Modelle diverser Dichtungshersteller angeboten.¹⁵

In der Regel sollten einmal demontierte O-Ringe nicht wiederverwendet werden.

¹¹ Seminar des O-Ring Prüflabor Richter zu O-Ringen: <http://www.o-ring-prueflabor.de/de/seminare/o-ring-dichtungen-auslegung-einsatzgrenzen-und-anwendungen/>

¹² MÜLLER, Heinz K. und NAU, Bernard S.: Onlineveröffentlichung: www.fachwissen-dichtungstechnik.de, Kap. 3: O-Ring: Theorie und Praxis, Stand: 08/2016, S.8 (Zugriff auf Webseite am 27.12.2017: http://www.fachwissen-dichtungstechnik.de/PDFs%2008.16/fw-dt_Kapitel03_08_16.pdf)

¹³ PARKER-PRÄDIFA: O-Ring Handbuch, Ausgabe 07/2015, S.9, Bild 2.31 (Online verfügbar: https://www.parker.com/literature/Praedifa/Catalogs/Catalog_O-Ring-Handbook_PTD5705-DE.pdf)

¹⁴ Firmenschrift der Westring Dichtungstechnik: Montage- und Demontagehinweise für Dichtungsmanschetten, S.3 (Zugriff auf Webseite am 29.12.2017: http://www.westring-dichtungstechnik.de/pdf/Westring_Dichtungstechnik_Montagehinweise_D.pdf)

¹⁵ Z.B. Firmenschrift der Westring Dichtungstechnik: Montage- und Demontagehinweise für Dichtungsmanschetten, S.4 (Zugriff auf Webseite am 29.12.2017: http://www.westring-dichtungstechnik.de/pdf/Westring_Dichtungstechnik_Montagehinweise_D.pdf)

PARKER-PRÄDIFA: O-Ring Handbuch, Ausgabe 07/2015, S.68, Bild 2.31 (Online verfügbar: https://www.parker.com/literature/Praedifa/Catalogs/Catalog_O-Ring-Handbook_PTD5705-DE.pdf)

5. Praxistipps (Prüfmöglichkeiten / Normempfehlungen)

Wenn bei Ausfällen die Schadensursache nicht eindeutig auf einen Montagefehler zurückgeführt werden kann, empfiehlt es sich, einen unabhängigen Spezialisten einzuschalten, um Herstellungsmängel als Ausfallursache sicher ausschließen zu können bzw. gegebenenfalls das Fehlerbild gegenüber dem Dichtungslieferanten souverän zu vertreten zu können.

6. Sonstiges

Dieser Artikel erschien in einer Kurzfassung in der Zeitschrift DICHT!, Ausgabe 01/2018.

O RING

PRÜFLABOR

RICHTER