

FACHWISSEN SCHADENSANALYSE VON ELASTOMERBAUTEILEN

Ein Angebot des

O RING

PRÜFLABOR

RICHTER

PRÜFEN BERATEN ENTWICKELN

Quelle: www.o-ring-prueflabor.de

Stand der Information: 10/2019

Luft in Druckflüssigkeiten – Die verborgene Gefahr für Dichtungen

Autoren:

Dipl.-Ing. Bernhard Richter,

Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Blobner

1. Einordnung und Häufigkeit des Schadensbildes

Von den vier Hauptschadensmechanismen wird der Schaden durch „Luft in Druckflüssigkeiten“ 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 Einbau-
raum und physikalische Überbeanspruchung durch die Betriebsbedingungen. Schadensfälle,
die durch Luft in der Hydraulikflüssigkeit ausgelöst wurden, gehören der letzteren Untergruppe
an. Weitere Schadensmechanismen aus dieser Untergruppe sind z.B. Abrieb, explosive De-
kompression, Spaltextrusion oder Blow-By bzw. Strömungserosion.

2. Fachliches Hintergrundwissen zum Schadensbild

Luft ist in Druckflüssigkeiten in der Regel molekular gelöst. Frische Hydrauliköle enthalten etwa 9 Vol.% Luft¹ und können je nach Typ und Viskosität bis zu 11% aufnehmen². Die Luftkonzentration im Öl ist nicht nur im Hinblick auf eine langsame Ölalterung (Oxidation) möglichst gering zu halten.

Oft gibt es ganz einfache Ursachen für Luft in Hydraulikflüssigkeiten, wenn zum Beispiel vor dem Befüllen eines Systems nicht die ganze Luft abgesaugt wird oder eine Hydraulikpumpe Luft mit ansaugt. Die Praxis zeigt, dass häufig ganz einfache Gründe für Luft-Probleme vorliegen.

Jede Hydraulikflüssigkeit hat eine bestimmte Sättigungsgrenze. Diese lässt sich wie folgt abschätzen:

$$V_G = V_{\text{ö}} \cdot \alpha \cdot p$$

V_G = Gasvolumen bei 0°C und 1 bar

$V_{\text{ö}}$ = Ölvolumen

α = Bunsenkoeffizient (Luft = 0,09, Stickstoff = 0,08)

Neben dem Systemdruck und Bunsenkoeffizient beeinflussen aber auch die Öltemperatur, – additive und –viskosität die Lösbarkeit von Luft im Hydrauliköl. Mit einer zunehmenden Alterung des Öls oder durch das Mischen unterschiedlicher Öle kann die Luftaufnahme ebenfalls stark ansteigen.

In der molekular gelösten Form ist Luft relativ unproblematisch. Schwierigkeiten treten in der Regel erst dann auf, wenn es zu plötzlichen und größeren Druckänderungen kommt. Bei Druckabnahme wird die gelöste Luft in Blasenform ausgeschieden und verbleibt in der Druckflüssigkeit und/oder lagert sich als Schaum über dieser an. Ausgeschiedene Luft verändert spürbar die Eigenschaften der Druckflüssigkeit. Außerdem können diese Luftbläschen mit Hilfe bestimmter physikalischer Effekte nicht nur die Oberfläche von relativ weichen Dichtungen zerstören, sondern auch harte Metallteile gravierend beschädigen.

2.1 Kurzer Überblick über wichtige Hydraulikflüssigkeiten

Es gibt drei große Gruppen von Druckflüssigkeiten. Die älteste und wichtigste Gruppe von Druckflüssigkeiten sind die Hydrauliköle. In Bereichen mit Brandgefahr werden schwerentflammable Druckflüssigkeiten eingesetzt. Und schließlich stehen noch schnell biologisch abbaubare Druckflüssigkeiten zur Verfügung.

Die am häufigsten eingesetzten Druckflüssigkeiten sind auf Basis von Mineralölen. Es wird unterschieden zwischen den vier Typen³:

H-L und H-LP Hydrauliköle verhindern bzw. reduzieren Oxidation und Rost. Letztere LP-Typen werden v.a. im Hochdruckbereich eingesetzt. Ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung von Hydraulikölen ist ihr VT (Viskosität-/Temperatur)-Verhalten. Dieses ist bei den sogenannten

¹ Internetinformation der Oelcheck GmbH, Brannenburg (Webseite aufgerufen am 16.09.2019):

https://de.oelcheck.com/wiki/Hydraulikfl%C3%BCssigkeiten_und_deren_problematische_Vermischungen

² Internetinformation der Oelcheck GmbH, Brannenburg (Webseite aufgerufen am 17.09.2019):

https://de.oelcheck.com/wiki/Luft_und_Schaum_im_%C3%96

³ nach PARKER Hannifin GmbH (Hrsg.): Dichtungshandbuch, August 1999, S. 14

H-V-Typen optimiert, so dass diese bei tiefen und stark schwankenden Temperaturen eingesetzt werden. Die H-LPD Hydraulikflüssigkeiten sind in der Lage geringe Mengen von unerwünschtem Wasser zu binden.

Bei den schwer- bzw. teilweise nicht entflammbaren Druckflüssigkeiten wird ebenfalls zwischen vier Gruppen unterschieden:

HF-A Flüssigkeiten sind Öl-in-Wasser-Emulsionen und praktisch unbrennbar, da ihr Wassergehalt über 80%, meist jedoch sogar über 95% liegt. Sie erfordern jedoch spezielle und aufwändigere Dichtungsstrukturen, da sie praktisch die Konsistenz von Wasser besitzen.

Selten werden die sogenannten HF-B Lösungen (Wasser-in-Öl-Emulsionen) eingesetzt. Diese beiden Gruppen können nur in einem kleinen Temperaturbereich verwendet werden, der nach unten durch das Einfrieren von Wasser und nach oben durch das zunehmende Verdampfen begrenzt ist (5°C bis ca. 55°/60°C). HFC-Druckflüssigkeiten sind Lösungen von Polymeren in Wasser (z.B. Polyglykol) und HFD Flüssigkeiten sind synthetisch hergestellte, wasserfreie Lösungen.

Biologisch abbaubare Druckflüssigkeiten sind oft auf der Basis von Rapsöl bzw. daraus gewonnene Ölsäureester (HETG). Ferner gibt es noch Polyalkylenglykole (HEPG), synthetische Ester (HEES) und HEPR-Öle (meist auf Polyalphaolefinbasis).

2.2 Schädigungsmechanismen durch Luft in der Druckflüssigkeit

Es muss unterschieden werden zwischen Schadensmechanismen, die direkt und die indirekt, d.h. als Folgeschaden durch Luft in Öl ausgelöst werden.

Die direkten Schadensmechanismen sind der Deseleffekt, die Luftblasenerosion und die Kavitation. Indirekt bzw. ein Folgeschaden durch Luft im Öl ist die Explosive Dekompression.

2.2.1 Explosive Dekompression⁴ (engl. Explosive decompression)

Die Explosive Dekompression ist verwandt mit den oben genannten Schadensmechanismen (wird ausgelöst durch Druckwechsel und Gase), aber das problematische Gas ist hier in der Dichtung eingeschlossen, es kommt also nur in geringsten Mengen vor und es liegt sozusagen eine „mikroskopische“ explosive Dekompression vor (**Abb. 2 bis 4**). Bei ihr werden durch das schnelle Entweichen der Luft v.a. die äußeren Bereiche der Dichtung geschädigt. Bei diesem Schadensmechanismus haben wir es mit einem Zweiphasensystem aus Öl und Luft zu tun.

Damit grenzt sich diese Art der explosiven Dekompression klar von der „makroskopischen“ explosiven Dekompression ab, welche aus einer Gasphase (auch andere Gase / Gasgemische als Luft können der Auslöser sein) heraus entsteht (**Abb. 5 und 6**). Die „makroskopische“ Explosive Dekompression aus einer Gasphase heraus wird deswegen auch als eigenständiger Schadensmechanismus geführt, soll aber hier der Vollständigkeit halber und auf Grund ihres häufigen Auftretens kurz erwähnt werden. Sie tritt auf, wenn eine Dichtung mindestens 2 bis 4 Stunden unter hohem Gasdruck (>30bar) stand. Das Gas diffundiert unter diesen Bedingungen in die Dichtung ein. Bei schlagartiger Druckentlastung kann das eindiffundierte Gas nicht

⁴ Weiterführende Informationen und Schadensbilder: RICHTER, B. und BLOBNER, U.: Explosive Dekompression und Explosive Überhitzung – Starke und plötzliche Druck- oder Temperaturänderungen können gravierende Dichtungsschäden verursachen, Internetinformation des O-Ring Prüflabor Richter, März 2018, Link: <https://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen-schaden-explosive-dekomp-03-2018.pdf> (Zugriff auf die Webseite 16.09.2019)

schnell genug entweichen, so dass es zu Rissen oder aufgeplatzten Bläschen auf der Dichtungsoberfläche kommen kann. Die Explosive Dekompression kann also nicht nur durch Luft, sondern auch durch andere Gase ausgelöst werden.

Von den vier Schadensmechanismen durch „Luft im Öl“ tritt die „mikroskopische“ explosive Dekompression am häufigsten auf.

2.2.2 Dieseleffekt (engl. „Diesel effect“, „Dieseling“)

Der am zweithäufigsten auftretende Schaden ist der sogenannte Dieseleffekt. Werden Luftblasen im Öl durch plötzlichen sehr hohen Druck komprimiert, kommt es zu kleinen lokalen Selbstentzündungen bzw. Mikroexplosionen des Luft-, Dampfgemisches in den Blasen, ähnlich dem Geschehen in einem Dieselmotor. Jedoch ist die Verbrennung unvollständig, da in den kleinen Luftblasen zu wenig Sauerstoff zur Verfügung steht. Tritt der Dieseleffekt auf, lässt sich dies durch schwarzes Hydrauliköl (Rußpartikel) und mitunter extreme Schäden an Druckzylindern und Dichtungen erkennen (**Abb. 8 und 9**).

Die Selbstentzündungstemperatur ist von der Zusammensetzung der Hydraulikflüssigkeit abhängig und liegt zwischen 300 und 400°C. Diese Temperaturen können nur erreicht werden, wenn die Temperatur in den Bläschen nicht zu schnell in die Hydraulikflüssigkeit abgeführt wird. Außerdem wird die Selbstentzündung auch vom Druck und der Druckänderungsgeschwindigkeit beeinflusst. LIPPHARDT fand in seinen Untersuchungen, dass der Druck mindestens um 110.000 bar/s ansteigen muss, dass es zu einer Selbstentzündung einer Blase in einem mineralischen Öl kommt. Diese Druckanstiegsgeschwindigkeit gilt für große Blasen mit einem Volumen von ca. 180 mm³. Verkleinern sich die Blasen werden höhere Geschwindigkeiten notwendig.⁵

Der Dieseleffekt „tritt besonders in Zylindern auf, die unter Lastwechsel bewegt werden. (...) Im Moment der Zündung ergibt sich im Zylinder ein örtlicher Druckanstieg, der über das fünf- bis sechsfache des Betriebsdrucks ansteigen kann. Dabei können sich auch Metallteile wie unter einem Schmiedehammer verformen.“⁶ Durch den Dieseleffekt zeigt die geschädigte Dichtung im Extremfall Spuren von Verbrennung. „Bedingung für eine Dichtungsverbrennung sind jedoch häufig aufeinanderfolgende Entzündungen am selben Ort, gewissermaßen ein stationärer Entzündungsprozess.“⁷

2.2.3 Luftblasenerosion (engl. „Erosion by air“)

Werden als Druckflüssigkeit Öle verwendet, ist es - im Gegensatz zu Systemen mit wässrigen Druckflüssigkeiten - möglich und üblich, mit gewissen Dichtspalten zu arbeiten. Komprimierte Luftbläschen können durch Kolbenbewegung in den Dichtspalt geraten. Gelingt es ihnen die druckabgewandte Seite zu erreichen, kommt es zu einer schnellen Expansion der komprimierten Luft, verbunden mit einer hohen Energiefreisetzung. „Dabei werden auch Flüssigkeitsteilchen aus dem Spalt geschossen, mit der Folge, daß nicht nur die Dichtungen (...), sondern

⁵ Nach Lipphardt, P., Druckflüssigkeiten-Vorhaben Nr. 8 und 23. Untersuchungen über das Lösen und Abscheiden dispergierter Luft in Druckmedien und ihrer Wirkung in hydraulischen Kreisen, FKM-Abschlußbericht, 1976 zitiert in: KRAHL, Dominik und WEBER, Jürgen: Burning Hydraulics – Experimental Investigations of the Micro-Diesel Effect 11th International Fluid Power Conference 11. Ifk, Aachen, Group J-1, S. 539

⁶ PARKER Hannifin GmbH (Hrsg.): Dichtungshandbuch, August 1999, S. 106

⁷ SCHRADER, Klaus: Hydraulik-Dichtungen Teil II: Schadensbilder, -ursachen, -vermeidung in o+p Ölhdraulik und Pneumatik, Heft 5, Band 26, 1982, S. 358

auch die dazugehörigen Führungselemente die gleichen Oberflächenverletzungen aufweisen.“⁸

Mit Hilfe dieser Oberflächenverletzungen kann es nun zu dem Folgeschaden einer Strömungs-erosion kommen. Durch die hohen Drücke und schnellen Bewegungen werden die Riefen, sowohl auf dem metallenen Kolben als auch auf der Dichtung immer mehr ausgewaschen und es kommt zur Leckage.

2.2.4 Kavitation (engl. „Cavitation“)

Das Phänomen der Kavitation wird auch manchmal als Hohlraumbildung bezeichnet. Unter ihr „versteht man die Bildung von Blasen und deren Oszillation unter Einfluss hochfrequenter Druck- bzw. Dichteschwankungen in Flüssigkeiten.“⁹

Es gibt zwei Arten von Kavitation und unzählige Mischformen dieser beiden Arten. „Bei der „Dampfkavitation“ (harte/ transiente Kavitation) implodieren die Blasen bereits nach wenigen Oszillationen unter punktueller Freisetzung hoher Energieintensitäten. Bei der weichen (stabilen) Kavitation [verursacht] das in vielen Oszillationszyklen in die Blase eindiffundierende Gas den Kollaps.“¹⁰

In der Ölhydraulik tritt die sogenannte Dampf- oder harte Kavitation auf Grund des niedrigen Dampfdruckes von Öl nicht auf. Dampfkavitation kann nur bei den wasserhaltigen und schwer entflammaren HF-A und HF-B Druckflüssigkeiten vorkommen, die aber selten eingesetzt werden.

Zur besseren Abgrenzung der harten und weichen Kavitation, soll an dieser Stelle der Mechanismus der harten Dampfkavitation kurz erläutert werden: Unter Normaldruck siedet und verdampft Wasser bei 100°C. Sinkt nun der Umgebungsdruck, z.B. im Hochgebirge, so siedet Wasser bereits bei niedrigeren Temperaturen (auf 3000m NN bei ca. 90°C). Wird der Umgebungsdruck noch weiter gesenkt, kann Wasser auch bei deutlich niedrigeren Temperaturen, z.B. Raumtemperatur bereits verdampfen. Durch den Verdampfungsvorgang werden im Wasser Blasen gebildet, die mehr Volumen als Wasser in flüssiger Form einnehmen. „Sofern der Wasserdruck wieder ansteigt, hört der Verdampfungsvorgang wieder auf, der in der Kavitationsblase entstandene Wasserdampf kondensiert an der Außenwand der Dampfblase, und die bereits gebildeten Dampfblasen fallen schlagartig in sich zusammen. Der vorher benötigte Raum wird schlagartig kleiner, das Wasser muss diesen Raum wieder ausfüllen und strömt implosionsartig zurück, wodurch im Wasser sehr starke – wenn auch kurzzeitige – Druckstöße entstehen.“¹¹ Diese Druckstöße können eine sehr zerstörerische Kraft ausüben, die mithilfe von Mikrojets (Flüssigkeitsstrahl, der bei der Implosion der Blase in der Nähe von Wänden durch den Blasenzerfall entsteht) Vertiefungen und kleine Krater in metallischen Werkstoffen hinterlassen können.

Durch eine Saugwirkung kann z.B. der Druck von Wasser unterhalb des Dampfdruckes absinken. Dies ermöglicht die Entstehung von Dampfblasen. Kommen diese Dampfblasen wieder in einen Bereich mit höherem Druck, findet Kavitation statt. Diese unterschiedlichen

⁸ PARKER Hannifin GmbH (Hrsg.): Dichtungshandbuch, August 1999, S. 103

⁹ GMBU – Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelttechnologien e. V, Fachsektion Halle.: Power Point Präsentation : 2.4 Was ist Kavitation?, Folie 2 (Webseite abgerufen am 17.09.2019): http://www.gmbu.de/cms/images/gmbu/Halle/downloads/Folien_424_GRUNDLAGEN_II.pdf

¹⁰ Ebd., Folie 2

¹¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Kavitation#Technik> (Webseite abgerufen am 16.09.2019)

Druckbereiche können bspw. durch Ultraschall für einen kavitationsunterstützten Reinigungsvorgang oder beim Durchströmen unterschiedlicher Querschnitte ausgelöst werden.

Kommt es in wässrigen Umgebungen zu einer harten Kavitation, ist für polymere Werkstoffe wie Dichtungen nicht nur der physikalische Angriff zerstörend, sondern durch die extrem schnelle Druck- und Temperaturzunahme während des Kavitationsvorganges „führt die sonolytische Spaltung von H_2O zur Bildung von H^* und OH^* Radikalen, die zu einer Reihe von Folgereaktion, u.a. der Bildung von H_2O_2 führen. Die OH^* -Radikale haben letztlich transienten Charakter, führen aber in der unmittelbaren Umgebung der Blasen zu einer Reihe signifikanter chemischer (...) Wirkungen, [wie] z.B. [der] Synthese/Degradation von Polymeren.“¹²

Häufiger wird die harte Kavitation durch Axial- und Radialschwingungen von Kolbenstangen ausgelöst. Im Dichtspalt können sich dann Schäden durch eine Kavitation bemerkbar machen.¹³ Durch diese Schwingungen kann ein lokaler Unterdruck entstehen, jedoch nur in einer wässrigen Phase. Radialschwingungen führen zu einer zyklischen Veränderung der Kontaktbreite b (Abb. 1 - Beispiel einer statischen O-Ring Dichtung an einer nassen Zylinderlaufbuchse mit zu großem Radialspiel). Bei der Verringerung entsteht ein Unterdruck, der im erhitzten Kühlwasser zur Dampfblasenbildungen führen kann, bei der anschließenden Verlängerung der Kontaktbreite b fallen die Dampfbläschen wieder in sich zusammen und können zu Materialausbrüchen im Nutgrund und/oder am O-Ring führen.

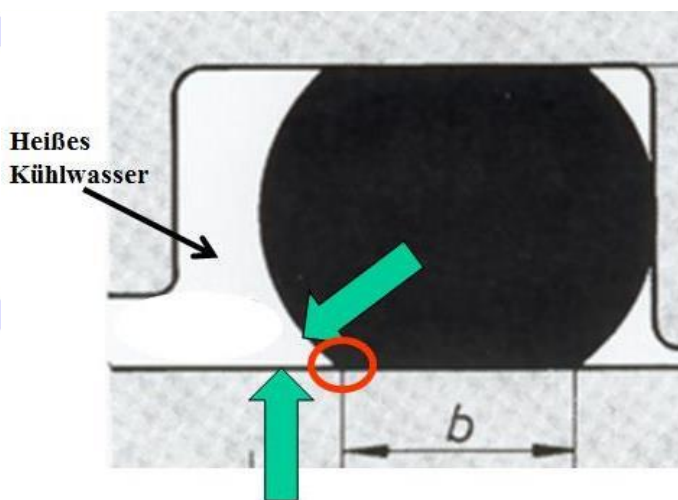


Abb. 1: Einbausituation eines O-Rings im Kontakt mit heißem Kühlwasser: Durch Radialschwingungen der Laufbuchse ändert sich die Kontaktbreite „b“, es kommt zur harten Kavitation im Bereich der grünen Pfeile

Häufiger tritt die weiche oder auch stabile Kavitation in der Hydraulik auf. Der erfahrene Schadensanalytiker Prof. Klaus Schrader aus Zwickau deutete bereits Anfang der 1980er Jahre den Dieseleffekt als eine Sonderform der Kavitation: „Mit der Strömungserosion ist häufig die Kavitation verbunden, die wiederum zu Verbrennungen aufgrund des sog. Dieseleffekts führen kann. Der Mechanismus kann wie folgt erklärt werden: Öl vermag bei Druckerhöhung Luft molekular zu binden, also aufzunehmen und bei Druckverminderung auszuscheiden. Durchströmt Öl eine Drosselstelle bzw. einen Spalt, so ergeben sich Druckänderungen, die zur Luftausscheidung führen. Diese Luftblasen können jedoch wegen der anwesenden Ölmoleküle zündfähige Gemische sein, so daß bei Druckvergrößerung eine Entzündung stattfindet, die

¹² GMBU – Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelttechnologien e. V, Fachsektion Halle.: Power Point Präsentation : 2.4 Was ist Kavitation?, Folie 19 (Webseite abgerufen am 17.09.2019): http://www.gmbu.de/cms/images/gmbu/Halle/downloads/Folien_424_GRUNDLAGEN_II.pdf

¹³ Vgl. PARKER Hannifin GmbH (Hrsg.): Dichtungshandbuch, August 1999, S. 108

von Lohrenz beobachtet und untersucht wurde.¹⁴ Natürlich kann aber der Dieseeffekt auch auftreten, wenn bereits bestehende Luftblasen im Öl komprimiert werden, also nicht erst durch weiche Kavitation entstanden sind.

2.2.5 Weitere Probleme durch „Luft im Öl“ (engl. „Air in the fluid“, „air trapped in oil“ u.ä.)

Durch einen hohen Luftanteil in der Hydraulikflüssigkeit verändern sich auf Grund der Kompressibilität von Luft die Eigenschaften der Flüssigkeit stark. Es kann zu einem Nachfedern und dem Entstehen von Schwingungen im Hydrauliksystem kommen. „Auch Dichtungen können als Erreger und Verstärker [von Schwingungen] wirken Sie werden dadurch einer erhöhten Beanspruchung ausgesetzt mit der Folge einer verkürzten Betriebsdauer.“¹⁵

3. Schadensbild

3.1 Beschreibung des Schadensbildes und problematischer Bereiche

Luft in Druckflüssigkeiten kann sehr unterschiedliche Schadensbilder auslösen, weshalb hier nach der Schadensursache unterschieden werden muss.

3.1.1 Schäden ausgelöst durch Explosive Dekompression¹⁶

Direkt nach der Entspannung finden sich häufig noch Blasen an der Oberfläche, welche sich meistens wieder zurückbilden. Typische bleibende Schädigungen sind Ausbrüche an der Dichtungsoberfläche und Risse im Kern, die sich zum Teil bis zur Oberfläche fortpflanzen, siehe **Abb. 2 bis 7**.



Vergrößerung: X50,0
Neigungswinkel: 0 Grad

0,500mm

Abb. 2: Durch Luft geschädigter O-Ring infolge explosiver Dekompression aus einer Hydraulik-Anwendung

¹⁴ SCHRADER, Klaus: Hydraulik-Dichtungen Teil II: Schadensbilder, -ursachen, -vermeidung in o+p Ölhydraulik und Pneumatik, Heft 5, Band 26, 1982, S. 358

¹⁵ PARKER Hannifin GmbH (Hrsg.): Dichtungshandbuch, August 1999, S. 105

¹⁶ Dieses Unterkapitel wurde folgendem Fachartikel entnommen: RICHTER, B. und BLOBNER, U.: Explosive Dekompression und Explosive Überhitzung – Starke und plötzliche Druck- oder Temperaturänderungen können gravierende Dichtungsschäden verursachen, S. 2f., Internetinformation des O-Ring Prüflabor Richter, März 2018, Link: <https://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen-schaden-explosive-dekomp-03-2018.pdf> (Zugriff auf die Webseite 16.09.2019)



Abb. 3: Geschädigter O-Ring aus einer Hydraulikanwendung: Luft drang in das Elastomer ein und es kam zur Explosiven Dekompression, die zu Abplatzungen an der Oberfläche führte



Abb. 4: Querschnitt durch eine geschädigte Hydraulikdichtung: Der Schadensmechanismus der „mikroskopischen“ explosiven Dekompression verursachte kleinere Risse (100-fache Vergrößerung!) im Inneren der Dichtung



Abb. 5: Schadensbild Luft im Hydrauliköl, die Schädigung findet sich im Gegensatz zur Spaltextrusion auf der Druckseite.



Vergrößerung: X30,0

Neigungswinkel: 0 Grad

0,50mm

Abb. 6: Blasen an der Oberfläche und Risse in Umfangsichtung durch „makroskopische“ explosive Dekompression

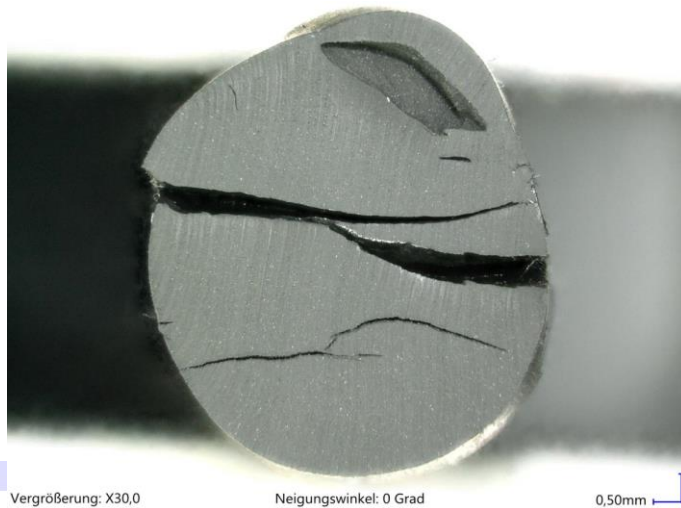


Abb. 7: Relativ große Risse im Querschnitt durch eine „makroskopische“ explosive Dekompression

Vergrößerung: X30,0

Neigungswinkel: 0 Grad

0,50mm

3.1.1 Schäden ausgelöst durch den Dieseleffekt

Beim Dieseleffekt finden sich auf der geschädigten Dichtung Bereiche, in welchen der Gumiwerkstoff regelrecht verbrannt und depolymerisiert wurde. Er ist verantwortlich für relativ starke Schädigungen. Bei thermoplastischen Dichtungswerkstoffen entstehen neben den Verbrennungen auch angeschmolzene Bereiche.

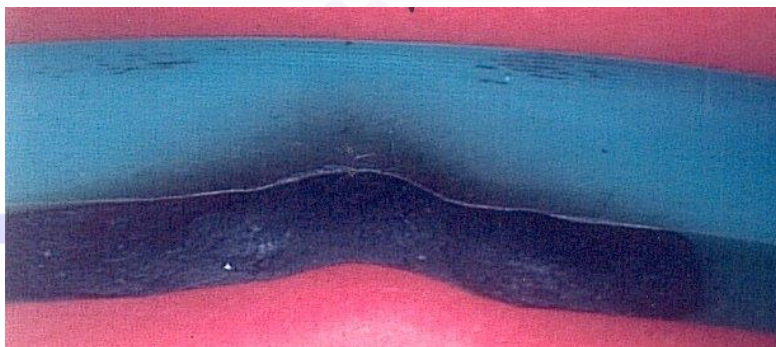


Abb. 8: Verbrennungen und Formänderung durch den Dieseleffekt an einer statisch eingesetzten Polyurethandichtung

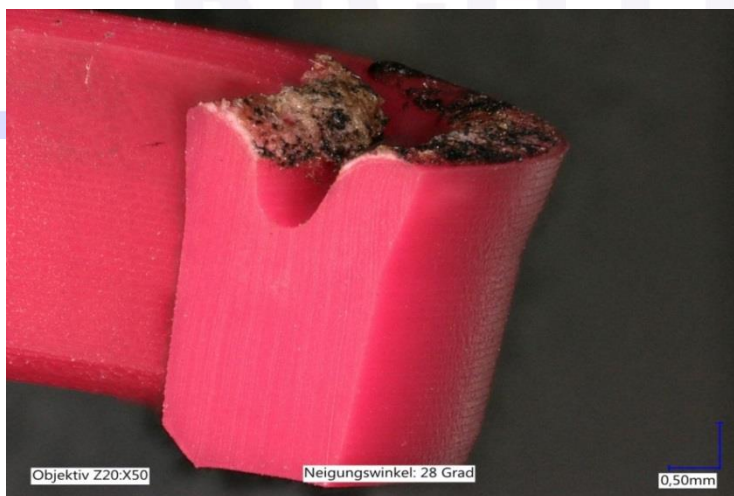


Abb. 9: Deutlich erkennbarer Dieseleffekt an einer dynamisch eingesetzten Polyurethandichtung

Objektiv Z20.X50

Neigungswinkel: 28 Grad

0,50mm

3.1.3 Schäden ausgelöst durch Luftblasenerosion

Bei der Luftblasenerosion gelangen komprimierte Bläschen durch den Dichtspalt. Durch die hohe Energie der Bläschen und der axialen Bewegungsrichtung entstehen parallele Riefen. Diese Riefen bilden Kanäle für den Folgeschaden einer Strömungserosion. Diese beiden Schadensbilder lassen sich nur schwer voneinander trennen.

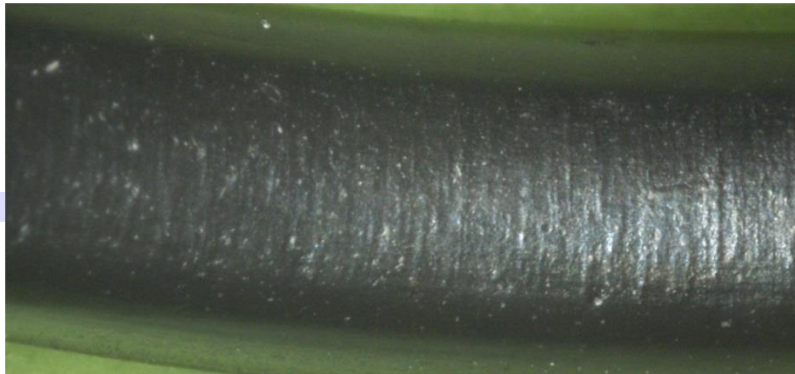


Abb. 10: Erosionsschäden (parallele Riefen in Axialrichtung) an einem O-Ring

3.1.3 Schäden ausgelöst durch Kavitation

Bei Schäden durch Kavitation finden sich punktuelle, kraterförmige Ausbrüche. Diese können sowohl auf der Dichtung als auch am metallischen Gegenpart anzutreffen sein.



Abb. 11: Oberflächenbeschädigung eines O-Rings durch harte Kavitation an einer nassen Zylinderlaufbuchse

3.2 Auswirkungen des Schadens

Die oben beschriebenen Schadensmechanismen führen in den meisten Fällen nicht zu einem sofortigen Dichtungsausfall, sondern beginnen mit mehr oder weniger großen Leckagen. Als Folgeschäden kann eine Strömungserosion auftreten.

3.3 Abgrenzung zu ähnlichen Schadensbildern

Die Schädigung durch expandierende Luft (Explosive Dekompression) kann mit dem Schadensbild der Spaltextrusion verwechselt werden (**Abb. 12**). Allerdings tritt die Spaltextrusion auf der druckabgewandten Seite auf, während es durch expandierende Luft zu Schädigungen auf der Druckseite kommt.

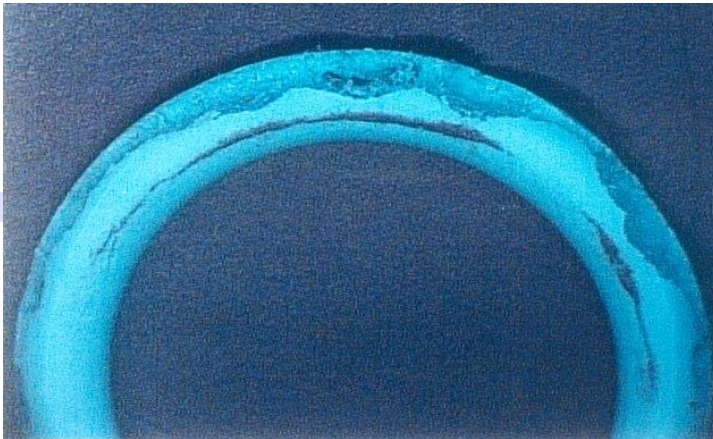


Abb. 12: Geschädigter O-Ring durch Spaltextrusion: Die Ausbrüche ähneln dem Schadensbild einer Explosiven Dekompression

Erosionsschäden können nicht nur durch Luft, sondern auch durch harte Druckstöße und einer daraus resultierenden Überströmung (Blow-by) verursacht werden (**Abb. 13**).



Abb. 13: Geschädigte O-Ring Oberfläche durch Blow-by Effekte infolge harter Druckstöße: Dieses Schadensbild kann einer Strömungserosion ähneln

4. Präventionsmaßnahmen

Die wichtigste Präventionsmaßnahme besteht darin die Luftkonzentration im Öl so gering wie möglich zu halten.

Bei der Wartung von Anlagen sollten generell nie verschiedene Öle miteinander gemischt werden, da die unterschiedlichen Zusammensetzungen und Additivpakete das Luftabscheidevermögen negativ beeinflussen können. Dies erfordert innerhalb des Betriebes ein für jeden klar nachvollziehbares System, wo und wann welche Öle nachgefüllt werden dürfen und müssen. Auch wenn sich die mitunter langen Ölbezeichnungen unterschiedlicher Hersteller in nur wenigen Ziffern und Buchstaben unterscheiden, sind sie nicht gleich!

Öle mit hohem Luftabscheidevermögen (LAV) sind zu bevorzugen und das Öl sollte im Betrieb möglichst sauber gehalten werden.

Durch die Ölalterung (Oxidation), aber auch durch Verunreinigungen oder fälschlich zugemischtes Öl kann die Schaumneigung zunehmen. Außerdem sollte das Öl innerhalb der vorgeschriebenen Intervalle gewechselt werden.

Durch regelmäßige Wartung von Dichtungen sollte sichergestellt werden, dass die Ölpumpe keine Falschlucht zieht.

Bei Riefen durch Luftblasenerosion ist man geneigt zuerst an eine Reduzierung des Dichtspaltes zu denken. Doch „solche Zerstörungen können auch durch engere Spalte nicht vermieden werden, denn sie haben nur insoweit mit dem Spalt zu tun, als der Druckabfall an dieser Stelle hinter der Dichtung entsteht. Nur eine Minderung des Luftanteils auf den Sättigungsgrad bei Normaldruck kann hier wirkliche Abhilfe schaffen.“¹⁷

Wo es konstruktiv möglich ist, sollten enge Strömungspalte oder große Querschnittsänderungen in Zusammenhang mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten reduziert oder vermieden werden.

Ein gut gefiltertes Öl enthält weniger Feststoffpartikel, die andernfalls eine Strömungserosion beschleunigen und verstärken können.

5. Praxistipps (Prüfmöglichkeiten / Normempfehlungen)

Bei diesen größtenteils auf physikalischen Effekten beruhenden Schadensmechanismen gibt es von werkstofflicher Seite wenige Stellschrauben.

Wie bei jeder Dichtungsanwendung sollte der Werkstoff chemisch mit den jeweiligen Druckflüssigkeiten verträglich sein und auch die üblichen Temperaturkollektive im betreffenden Hydrauliksystem ohne Schädigung aushalten können.

In komprimierten Luftblasen können Temperaturspitzen zwischen 200°C und 1000°C auftreten. Dies sind allerdings Bereiche, in welchen jeder polymere Werkstoff auf Dauer versagen wird. Hier wird es schnell klar, dass nur eine systematische Vermeidung solcher Temperaturspitzen Abhilfe schaffen kann, um eine nachhaltige Dichtungsfunktion zu ermöglichen.

¹⁷ PARKER Hannifin GmbH (Hrsg.): Dichtungshandbuch, August 1999, S. 104

6. Sonstiges

Dieser Artikel erscheint in einer Kurzfassung in der Zeitschrift DICHT!, Ausgabe 04/2019.

Link zu den Digitalausgaben dieser Zeitschrift:

<https://dichtdigital.isgatec.com/de/profiles/1d1042c9c353/editions>

O RING

PRÜFLABOR

RICHTER

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
