

Berger/Kiefer (Hrsg.)

DICHTUNGS TECHNIK

JAHRBUCH 2019

ISGATEC®

Blasen auf Radialwellendichtringen

Eine immer häufigere Schadensursache

Federvorgespannte Elastomer-Radialwellendichtringe werden zum Abdichten von rotierenden Wellen in allen Bereichen des Maschinen- und Fahrzeugbaus verwendet. Die Dichtung ist millionenfach genutzt und erprobt. Basierend auf ihrer hervorragenden statischen Abdichtung und dem aktiven dynamischen Dichtmechanismus funktionieren sie oftmals lebenslang ohne Probleme. Wie auch immer, den tribologischen Beanspruchungen sind auch Grenzen gesetzt. Werden diese Grenzen überschritten, entsteht ein Schaden. Nach den Definitionen der Schadensanalyse [1] ist der Schaden einer Dichtung die Leckage.

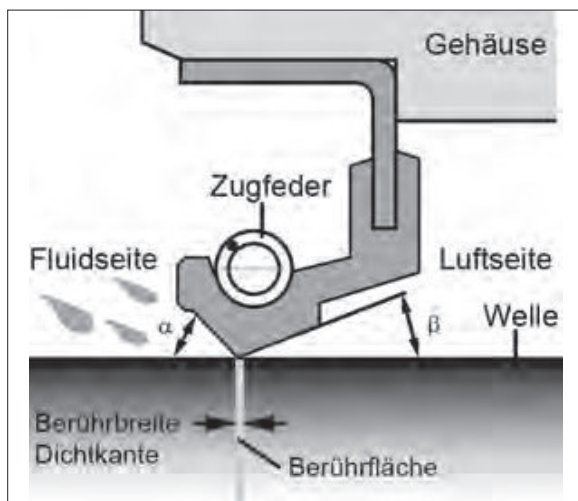


Bild 1: Radialwellendichtung

(Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

Das tribologische System, also die "Dichtung", besteht aus den vier Systempartnern Dichtelement, Gegenauflfläche, abzudichtendes Fluid und dem Umgebungsfluid (oftmals Luft). Auf diese wirken im Sinne einer tribologischen Systembetrachtung die tribologischen Beanspruchungen wie z.B. Relativgeschwindigkeit, Temperatur und weitere Einflüsse. Um das jeweils beste Dichtsystem auswählen zu können, ist es notwendig zu wissen, wie das System funktioniert und wie sich die verschiedenen Systempartner gegenseitig beeinflussen.

Um das beste System für die längste Betriebsdauer und höchste Zuverlässigkeit auswählen zu können, müssen die Schadensursachen der Dichtsysteme für die verschiedenen Anwendungen bekannt sein. Der Schaden „Leckage“ an Radialwellendichtungen (**Bild 1**) entsteht immer aus einem Primärschaden an einem der Systempartner. Solche Primärschäden entstehen z.B. durch hohen Verschleiß an Dichtring (**Bild 2 links**) oder Welle oder durch Überhitzung des Elastomers des Dichtringes mit oder ohne Ölkoh-

Von Dr.-Ing. Frank Bauer und Professor Dr.-Ing. habil. Werner Haas
Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA) | www.ima.uni-stuttgart.de
Der Beitrag wurde im 11th EDF/Pprime Workshop [13] auf Englisch erstveröffentlicht.

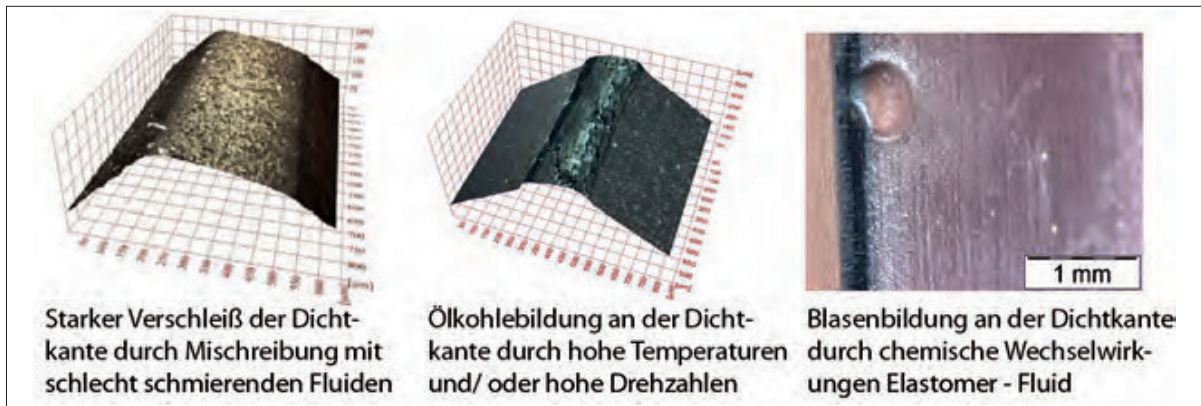
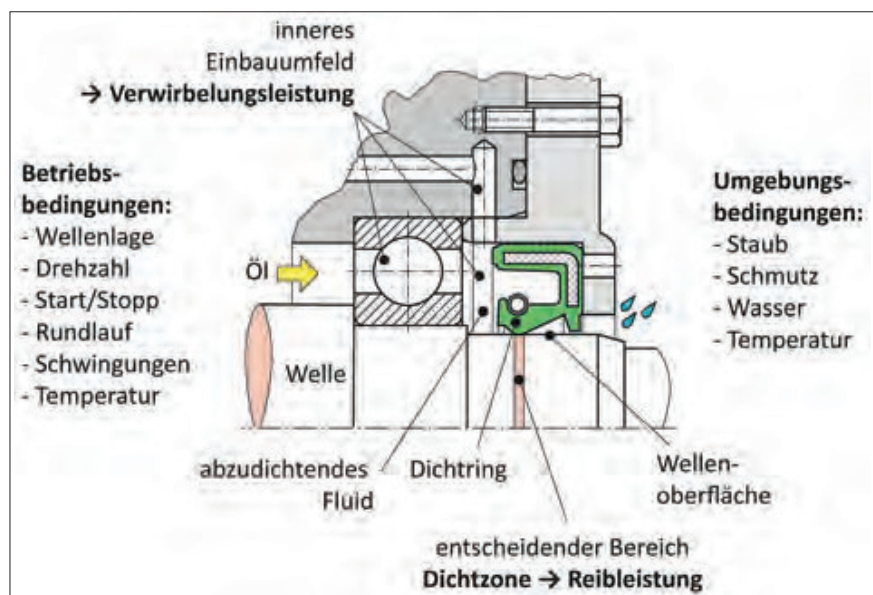


Bild 2: Primärschäden an der Dichtkante – Bild links und Mitte [3] (Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

Bild 3: Tribologisches System "Dichtung"

(Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))



leibung (**Bild 2 Mitte**). Eine weitere Schadensursache kann die Elastomer-Fluid-Inkompatibilität sein. Durch eine chemische Schädigung kann die Dichtkante quellen oder es können sich, wie in **Bild 2 rechts**, Blasen bilden. Die typischen Schäden an Elastomer-Radialwellendichtringen wurden in [2] ausführlich vorgestellt. Nachfolgend wird der immer häufiger auftretende Schadensmechanismus „Blasenbildung“ diskutiert. Es werden die Entstehung, die Schadensanalyse und die Einflüsse auf die Funktion der Dichtung detailliert besprochen. Mit dem Wissen über den Primärschaden „Blasenbildung“ und dessen Analyse kann der Anwender die Dichtungsumgebung, das abzdichtende Fluid oder den Dichtring und dessen Material modifizieren und somit für ein zuverlässiges Dichtsystem sorgen.

Dichtsystem

Das komplexe tribologische System „Dichtung“ (**Bild 3**) besteht aus dem Grundkörper in Form eines Dichtelements (**Bild 4**), dem Gegenkörper in Form der Welle, dem abzdichtenden Fluid, dem inneren Umgebungsumfeld, der Umgebung mit dem Umgebungsfluid und den Betriebsbedingungen.

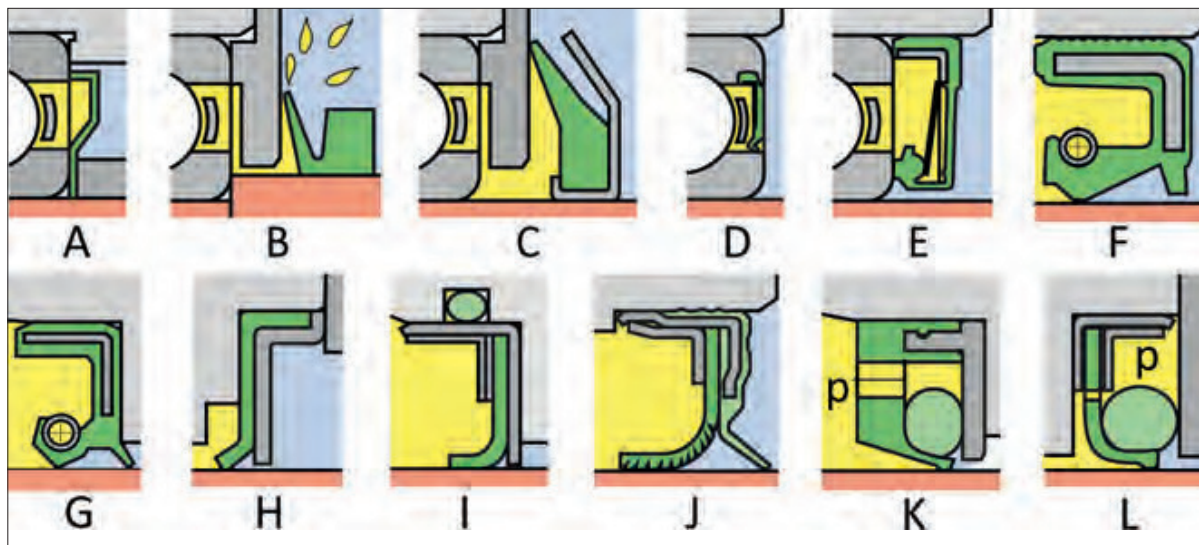


Bild 4: Dichtelemente zum Abdichten von rotierenden Wellen (Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

Der wichtigste Bereich ist die Tribokontaktzone, die Dichtzone. Diese Dichtzone (**Bild 3**) besteht zwischen dem Dichtelement und der Welle und ist im Neuzustand ca. 100 µm breit. Durch Verschleiß kann die Berührbreite mehrere 100 µm breit werden und trotzdem kann die Dichtung noch dicht sein. Auch wenn es sich um eine Verschleißfläche auf dem Dichtelement handelt, wird diese üblicherweise als Dichtkante bezeichnet.

Bild 4 zeigt verschiedene Dichtelemente für die Abdichtung von rotierenden Wellen. A-E sind die Lager-Schutzdichtungen, G und H sind PTFE-Manschettendichtungen, I bis K zeigen komplexere PTFE-Dichtungen für höhere Betriebsanforderungen, L ist eine PTFE-Manschettendichtung mit Spirallinie und M eine axial-wirkende Gleitringdichtung. Nachfolgend wird der immer häufiger vorkommende Primärschaden „Blasenbildung“ am Dichtelement „Federvorgespannter Elastomer-Radialwellendichtring“, kurz RWDR (Skizze F) gezeigt.

Federvorgespannter Elastomer-Radialwellendichtring

Während einer spezifischen Phase mit dem Einlaufverschleiß „laufen“ Dichtkante und Welle zusammen ein. Dabei werden die scharfen Spitzen der Wellenoberfläche verschliffen. Weiterhin wird die glatte Spritzhaut der Dichtkante verschliffen. Nach dem Einlaufverschleiß kann man Rauheitsstrukturen auf dem Elastomer der Dichtkante finden (**Bild 5**). Aufgrund des weichen Elastomers ist die Dichtung im Stillstand dicht, da das Elastomer die Rauheitsstrukturen der Wellenoberfläche verschließt. Aufgrund der verschiedenen Winkel an der Dichtkante auf der Fluid- und Luftseite und der Lage

Bild 5: Funktion – Rückfördermechanismus (Bild:

Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

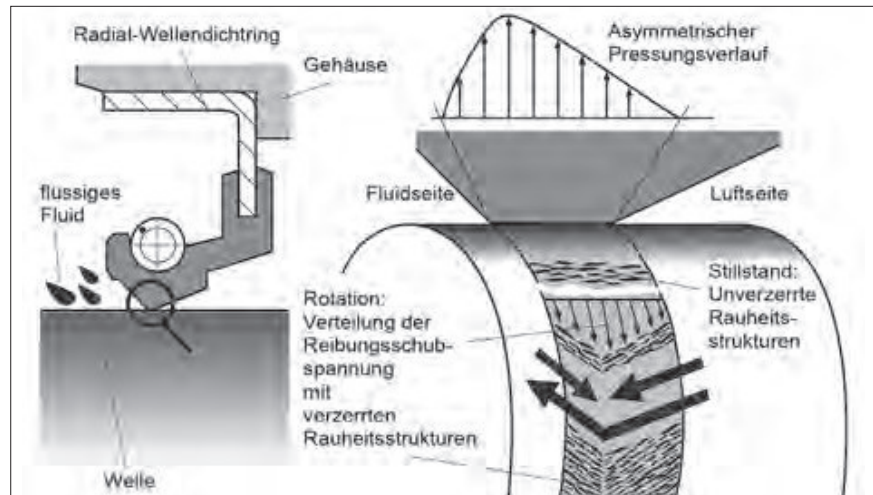
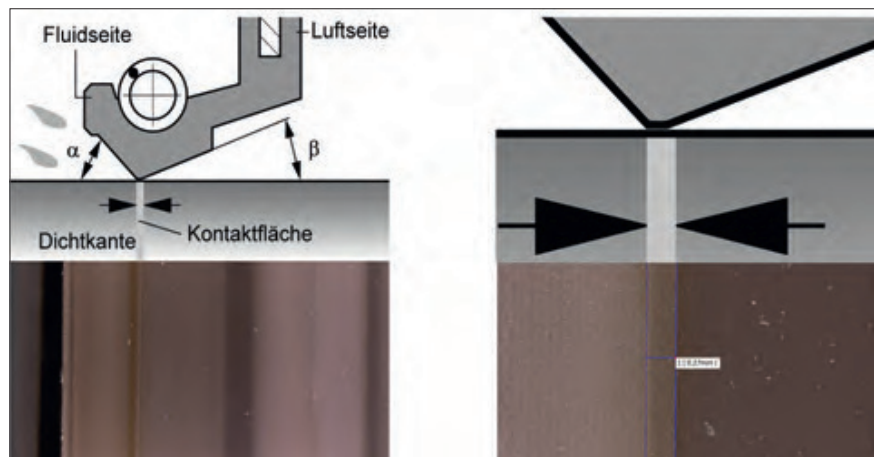


Bild 6: Optimal gleichmäßig und fein verschlissene Dichtkante in der Draufsicht (Bild: Universität

Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))



der Zugfeder herrscht im Kontakt eine asymmetrische Pressungsverteilung mit verschiedenen Gradienten an der Dichtkante [4].

Wenn die Weile rotiert wird, werden die elastomeren Rauheitsstrukturen analog zur asymmetrischen Pressungsverteilung durch die Reibung verzerrt. Diese angewinkelt verzerrten Strukturen wirken wie Mikropumpen. Die Strukturen auf der Fluidseite pumpen die Flüssigkeit – oftmals Öl – in die Dichtzone. Dadurch ist die Dichtkante gut geschmiert und es kann durch Rauheit zum hydrodynamischen Abheben der Dichtkante kommen. Da sich dabei das Dichtelement verformt, handelt es sich um elastohydrodynamische Schmierung (EHD). Durch die vollständige Trennung der Dichtkante und Weile wird Verschleiß verhindert und das System arbeitet langzeitfunktionssicher. Die Strukturen auf der Luftseite pumpen das Öl zurück auf die Fluidseite. Somit herrscht ein ständiger Austausch von Öl, die Dichtzone wird gekühlt und das Dichtsystem ist dicht. Dieser aktive Rückfördermechanismus funktioniert sehr gut, solange nicht das abzudichtende Fluid, die Kontaktgeometrie der Dichtkante, die Umgebung der Tribokontaktzone, das Beanspruchungskollektiv oder das weiche und elastische Elastomer verändert oder geschädigt werden.

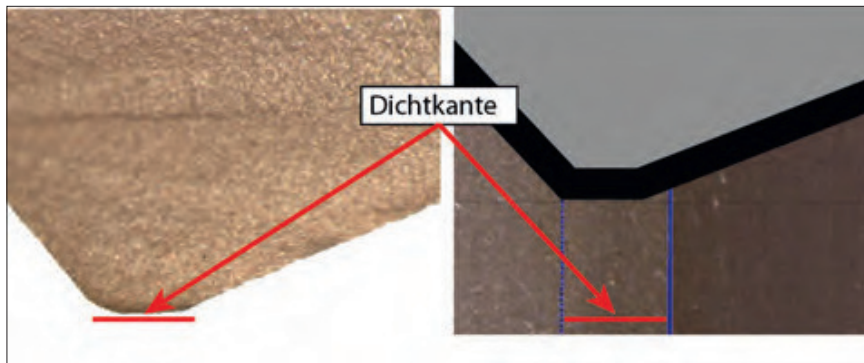


Bild 7: Querschnitt durch die weiche Dichtkante und Vergrößerung des Bildes 6 rechts, Schadenmechanismen

(Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

Im **Bild 6** ist ein Beispiel in zwei Vergrößerungen einer perfekt eingelaufenen Dichtkante (FKM) nach einem 240-h-Dauerlauf mit einer Ölsumpftemperatur von 120 °C und einer Umfangsgeschwindigkeit von 13,5 m/s dargestellt.

Im **Bild 7 links** ist der Querschnitt der Dichtkante und in **Bild 7 rechts** nochmals eine Vergrößerung aus **Bild 6 rechts** dargestellt. Es sind keinerlei Fehler oder Schäden und nicht einmal eine unkritische Verfärbung erkennbar. Vielmehr hat die Oberfläche die gleiche Struktur neben der Dichtkante – elastisch und verformbar.

Schadenmechanismen

In verschiedensten Feldausfällen und Forschungsprojekten wurden die Schadenmechanismen an der Dichtkante von Radialwellendichtringen untersucht. Die hauptsächlich auftretenden Schadenmechanismen zeigt **Tabelle 1**.

Veröffentlichungen zu Schadensanalysen von Radialwellendichtungen

Alle genannten Schäden können in allen Bereichen des Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbaus gefunden werden. Allerdings sind nur wenige Veröffentlichungen über Schadensanalysen im Bereich der Radialwellendichtungen verfügbar, z.B. in [5] und [6]. In [7] und [8] sind die Bilder aus [5] zitiert. Weitere Erkenntnisse des Autors zum Thema sind zum Beispiel in [2] und [9] veröffentlicht.

Generelle Meinung über Blasen

Generelle Meinung und Wissen bezüglich Blasen sind:

- Blasen bilden sich ausschließlich auf der Luftseite der Dichtkante
- Blasen bilden sich ausschließlich bei Dichtringen aus dem Elastomer FKM
- Blasen bilden sich ausschließlich bei Verwendung von Synthetik-Ölen

Es gibt eine Vielzahl von Theorien über die Bildung von Blasen. Allerdings konnte bisher niemand hinreichend genau erklären, warum und wie sich die Blasen bilden.

Schaden	Schadensursache
Mechanisch	
Extensiver Verschleiß	Schlechte Schmierung
Asymmetrischer Verschleiß	Exzentrischer Einbau
Rauer Verschleiß, Ausbrüche	Raue Oberfläche oder Partikel
Umlaufende Riefen in der Dichtkante	Partikel
Hohlriefe auf der Luftseite der Dichtkante	Druck
Thermisch	
Ölkohle auf der Dichtkante oder der Luftseite	Überhitzung
Verhärtung und Verkokung der Dichtkante	Überhitzung
Axiale Risse in der verhärteten Dichtkante	Überhitzung und mechanische Überdehnung
Thermo-chemisch	
Quellen	Öl-Elastomer Inkompatibilität
Deformation	Öl-Elastomer Inkompatibilität
Axiale Risse in der weichen Dichtkante	Öl-Elastomer Inkompatibilität
Blasen	Öl-Elastomer Inkompatibilität

Tabelle 1: Schadensmechanismen an der Dichtkante von Radialwellendichtringen

(Quelle: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

Wissenschaftliche Veröffentlichungen über Blasen

Wissenschaftliche Veröffentlichungen über Blasenbildung sind kaum zu finden. Die einzige Dissertation, die sich hauptsächlich mit Blasen beschäftigt, ist von Schulz [10] an der TUHH erstellt worden. Er untersuchte die Entwicklung von Blasen und entwickelte verschiedene Hypothesen und stellte den Mechanismus vor. Eine Hypothese für die Blasenentwicklung ist:

1. Thermo-chemische Inkompatibilität des Fluor-Elastomers und der Additive im Öl (meist Amine).
2. Molekülketten werden geschwächt und zerstört.
3. Mechanische Beanspruchung aufgrund Reibung.
4. Ermüdungsrisse bilden sich entlang der zerstörten Molekülketten von der Ölseite unter der Dichtkante zur Luftseite.
5. Ein mechanischer Vorgang führt zur Füllung und zum Aufblähen der Blase.
6. Die Wände der Blase werden durch das Fluid verhärtet und bleiben auch ohne Fluid formstabil.

In seinen Prüfstandsuntersuchungen führten nicht alle der fünf untersuchten Öle zur Blasenbildung. Besonders das Öl ohne Additive führte nicht zur Blasenbildung. Er folgerte: „Bei höheren Temperaturen sind einige der Additive chemisch nicht kompatibel mit dem Elastomer“.

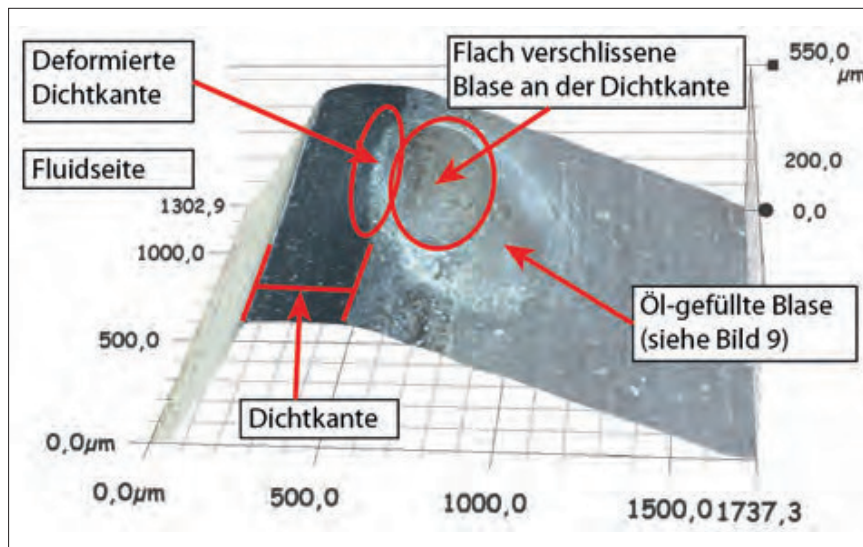


Bild 8: Verhärtete Dichtkante mit Blase auf der Luftseite und unter der Dichtkante in der Dichtzone (Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

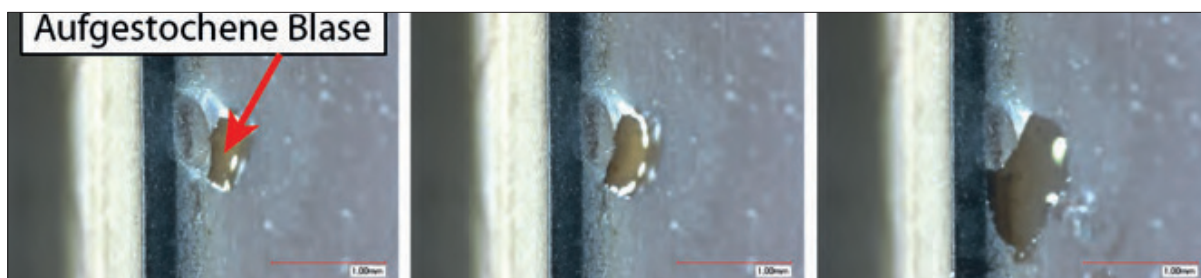


Bild 9: Öl-Ausfluss nach dem Aufstechen der Blase aus Bild 8 zu verschiedenen Zeitpunkten

(Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

Die Hypothese kann mit Wissen über statistische Öl-Elastomer-Einlagerungsversuche (z.B. [11]) und Schulz's eigene Einlagerungsversuche mit Elastomer-Radialwellendichtungen bestätigt werden:

Bei statischen Einlagerungsversuchen können keine Blasen an den Testkörpern gefunden werden. Das beweist, dass die anderen von ihm untersuchten Thesen wie Verdampfung, Osmose oder Diffusion nicht zielführend sind. Ausschließlich die Hypothese, welche den dynamischen Pumpmechanismus einschließt, führt zu einem Erklärungsansatz. Heutzutage kann dieser Schadensmechanismus in immer mehr realen Anwendungen und in immer mehr dynamischen Öl-Elastomer-Kompatibilitätstests am Komponentenprüfstand gefunden werden.

Zielsetzung

Die eigenen Untersuchungen und Schlussfolgerungen bestätigen Schulz's Erkenntnisse und erweitern das Wissen über Blasen, deren Bildung und Verhalten in der Lebenszeit einer Dichtung. Mit diesem Wissen kann die Dichtungs-, Additiv- und



Bild 10: Blasen im Querschnitt (links und Mitte Blase 1, rechts Blase 2) (Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

Ölindustrie systematisch untersuchen, welche Kombinationen im Tribosystem zu Blasen führen und wie Blasen verhindert werden können.

Blasen

Eine Blase ist ein Hohlraum unter der Elastomeroberfläche. Elastomer-Radialwellendichtringe werden im Spritzgießverfahren hergestellt. Auf der Luftseite der Dichtkante ist daher immer die glatte robuste und in sich geschlossene Spritzhaut vorhanden. Bei einigen Typen verbleibt die Spritzhaut auf der Ölseite („fertig gespritzte Dichtkante“), bei anderen wird die Dichtkante abgestochen und es verbleibt das offenporige Elastomer. Nach einer Einlaufphase liegt bei beiden Typen das offenporige Elastomer mit den Strukturen auf der Dichtkante auf der Welle auf.

Bei den gestochenen Typen wird der Verschleiß der Spritzhaut auf der Ölseite also vorweggenommen. Diese Typen funktionieren von Beginn an besser und zuverlässiger.

In **Bild 8** ist ein 3D-Bild einer Dichtkante mit Blase dargestellt. Zusätzlich zur Blase ist die Dichtkante durch thermische Einwirkungen komplett verfärbt und verhärtet. Es ist kein weiches und verformbares Elastomer erkennbar. Die Blase auf der Luftseite der Dichtkante ist komplett aufgepumpt mit Öl. Die Oberseite der Blase ist flach und geht in die Dichtkante über. Die Ursache hierfür ist, dass die Blase schon so groß ist, dass sie mit der Dichtkante auf der Welle auflag und verschliss. Nach dem Ausbauen des Dichtringes steht die Blase sogar über die Dichtkante vor und verformt diese. Nach dem Aufstechen der Blase mit einer Nadel in **Bild 9** ist deutlich erkennbar, wie das Öl ausfließt und das Volumen kleiner wird. Im Gegensatz zu Schulz's Untersuchungen konnte der Autor selten eine Formstabilität des weichen Elastomers erkennen.

In **Bild 10 links** ist eine andere Blase in der Draufsicht dargestellt. Diese Blase wurde im Querschnitt aufgeschnitten **Bild 9 Mitte**. Nach dem Ausfließen des Öles wird das

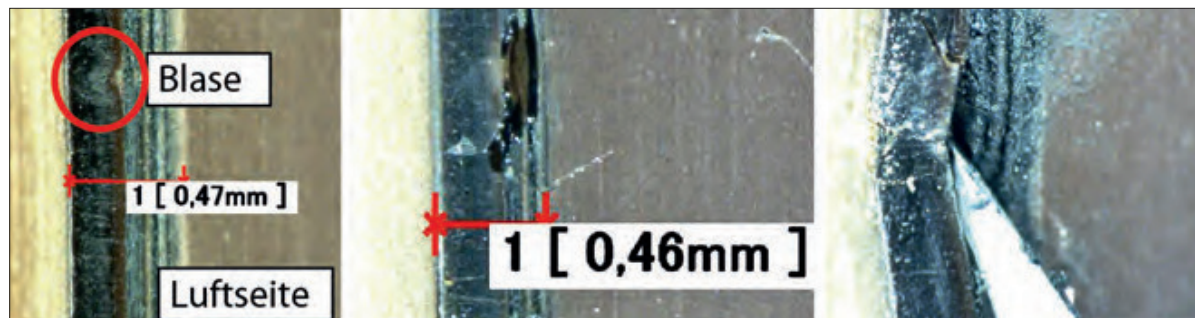


Bild 11: Blase unter der Dichtkante (links), nach dem Aufstechen (Mitte) und nach Deformation mit einer Nadel (rechts) (Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

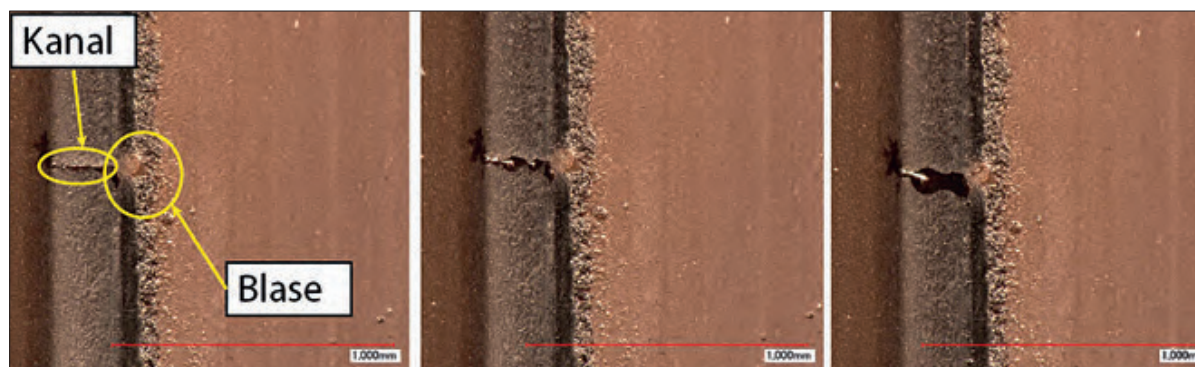


Bild 12: Öl-gefüllter Riss als Kanal zu einer Blase (Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

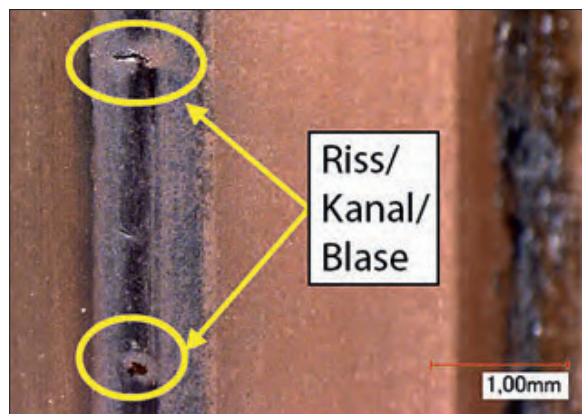


Bild 13: Beispiel von Blasenbildungen unter der Dichtkante aus Feldausfällen (Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

Volumen wieder klein und es ist nur noch ein kleiner Spalt zu erkennen. Trotz Reinigung mit Aceton fließen weiterhin geringe Mengen Öl aus. Es lässt sich gut sehen, dass sich die Blase nicht nur auf der Luftseite, sondern auch unter der Dichtkante befindet. Im rechten Bild ist eine weitere Blase mit einem größeren Volumen des Spaltes im Querschnitt dargestellt.

Bild 11 links zeigt eine Blase direkt unter der verformten Dichtkante. Es zeigt sich keine Deformation auf der Luftseite. Nach dem Aufstechen fließt das Öl aus und das Volumen wird kleiner, die Dichtkante ist nicht mehr angehoben **Bild 11 Mitte**. Sobald man die Blase mit einer Nadel deformiert (**Bild 11 rechts**), kann man die verhärtete und verkockte Dichtkante analysieren. Es ist deutlich erkennbar, dass das Elastomer nicht mehr weich und elastisch ist und somit die Funktion nicht mehr erfüllen kann.

Bild 14: Blasenausprägung abhängig von der Wellendrehrichtung (Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

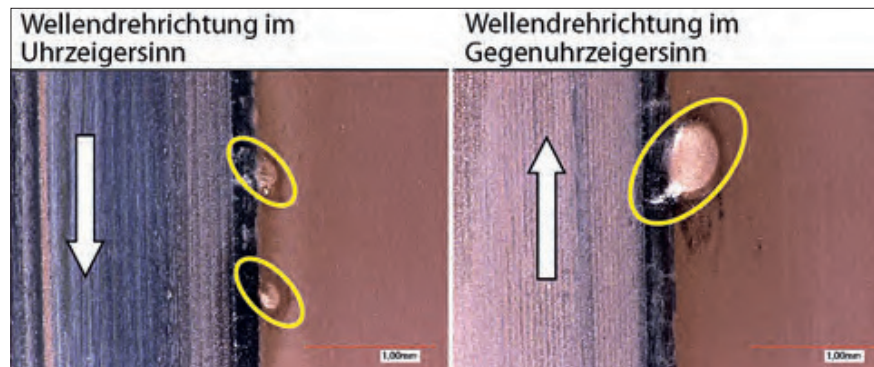


Bild 12 zeigt einen Ermüdungsriß/Kanal in der Oberfläche der Dichtkante, welcher zu einer kleinen Blase auf der Luftseite führt. Nach dem Reinigen mit Aceton (links) fließt nach kurzer Zeit permanent Öl aus dem Kanal (Mitte und rechts). Dies belegt die Theorie, dass die Blasen von der Ölseite durch die zu Kanälen erweiterten Ermüdungsrisse aufgepumpt werden. Meist sind diese Kanäle nicht sichtbar und liegen unter der Dichtkante. In diesem Fall ist die Dichtkante jedoch so stark verschlissen, dass der Kanal freigelegt wurde.

Bild 13 zeigt zwei Risse/Kanäle/Blasen unter der Dichtkante, welche durch Verschleiß während der Laufzeit freigelegt wurden. Dieser Primärschaden am Dichtelement führte zum Schaden des Dichtsystems – es trat Leckage aus.

Erweiterte Theorie

Es gibt keinen klaren Unterschied zwischen den Ermüdungsrisse, den Kanälen und den Blasen. Sobald die Ermüdungsrisse mit Öl vollgepumpt werden, entstehen daraus die Kanäle. Diese bilden sich weiter fort und werden über die Zeit immer größer und pumpen sich schlussendlich zu einer Blase auf.

Bild 14 bestätigt die Theorie: Im linken Bild ist eine im Uhrzeigersinn gelaufene Dichtkante dargestellt. Im rechten Bild ist eine Dichtkante im Gegenuhrzeigersinn gezeigt, welche unter den exakt gleichen Bedingungen gelaufen ist. Die Blasen sind offensichtlich in Richtung der Drehrichtung ausgeprägt.

Sobald sich eine Blase ausgebildet hat (**Bild 15 links**) und die Dichtung noch in Betrieb ist, wird sie kontinuierlich weiter aufgepumpt, bis die Blasenoberfläche Kontakt zur Welle hat. Ab diesem Zeitpunkt wird die Oberfläche durch die Wellenoberfläche verschlissen, bis die Blase (Mitte; gleiche Dichtkante, andere Blase) schließlich aufbricht und ausläuft. Dadurch entsteht ein dauerhaft offener Kanal von der Öl- zur Luftseite. Im Gegensatz zur verhärteten und verkockten Oberfläche auf der Dichtkante kann man am Rand der Blase noch weiches unverfärbtes Elastomer erkennen.



Bild 15: Beispiel von Blasenbildung unter der Dichtkante im Feldeinsatz (Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

Ist die Blase unter der Dichtkante und bereits aufgebrochen, kann sich aufgrund der hohen Temperatur in der Dichtzone Ölkohle in der aufgeplatzten Blase bilden (rechts; gleiche Dichtkante, weitere Blase).

Aus diesen Erkenntnissen lassen sich weitere Fakten ableiten:

1. Blasen können sich auch auf der Ölseite bilden (**Bild 16**).
2. Blasen können auch auf fertig gespritzten Dichtkanten mit Rückförderstrukturen entstehen (**Bild 17**).
3. Blasen können auch bei NBR-Dichtringen auftreten (**Bild 18**).
4. Wenn man dynamische Öl-Elastomer-Verträglichkeitstests mit den gleichen Dichtringen unter denselben Bedingungen durchführt, zeigen einige Öle Blasenbildung, andere Öle jedoch nicht. Dies gilt auch, wenn die gleichen Grundöle verwendet werden.
5. Mit unadditivierten Ölen traten in keinem Prüflauf und in keinem Projekt am Institut Blasen auf. Diese unadditivierten Öle werden häufig für AiF- und DFG-Projekte verwendet und es bestehen Erfahrungen über mehrere tausende Tests. → Die Additive sind ursächlich für den Schadensmechanismus "Blasenbildung".
6. Wenn man dynamische Öl-Elastomer-Verträglichkeitstests mit den gleichen Dichtringen unter denselben Bedingungen und den gleichen Öl-Additiv-Mischungen durchführt, beeinflusst die Temperatur entscheidend, ob die Molekülketten geschädigt werden (→ Blasenbildung) oder nicht.
7. Schon eine Temperaturreduzierung von 5 K kann Blasenbildung vermeiden!

Erweiterte Hypothese zur Blasenbildung

Die Hypothese von Schulz ist verständlich und mit den Bildern in diesem Beitrag bestätigt. Dennoch kann die Hypothese erweitert und verfeinert werden. Die erweiterte Hypothese zur Blasenbildung lautet:

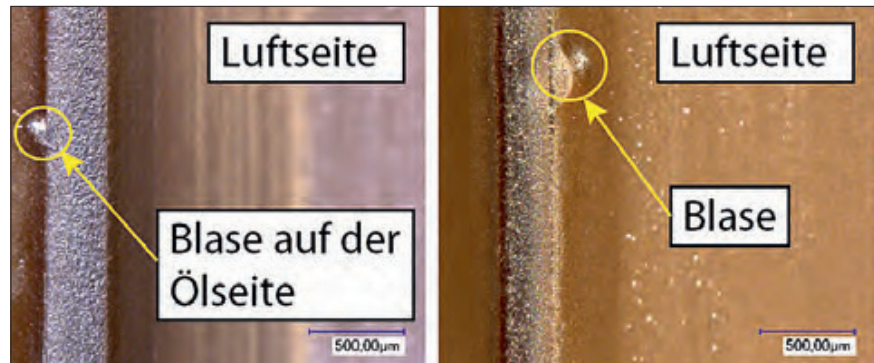


Bild 16: Blasen auf demselben Dichtringtyp nach dynamischen Prüfläufen unter gleichen Bedingungen ($p = 0,1 \text{ MPa}$, $v = 16 \text{ m/s}$, Ölsumpftemperatur 130 °C) (Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

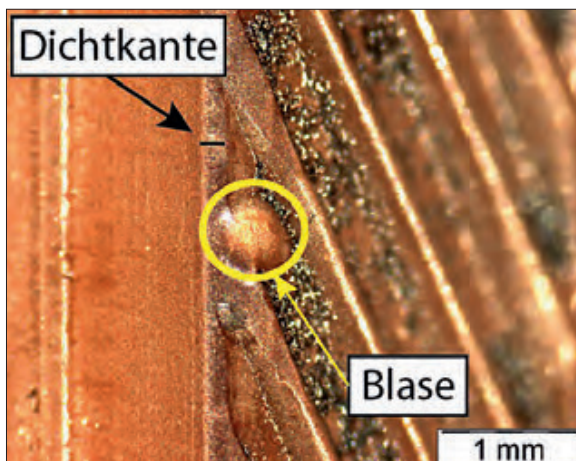


Bild 17: Blasen zwischen hydrodynamischen Rückförderstrukturen (Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

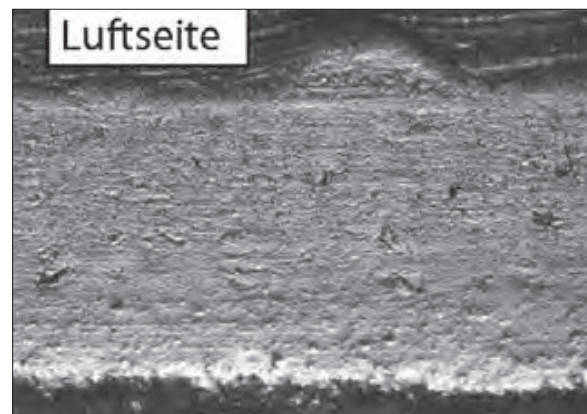


Bild 18: Blase auf einer NBR-Dichtkante auf der Luftseite, entstanden während Förderwerttests mit Polyglykol-Öl [12] (Bild: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA))

1. Thermo-chemische Inkompatibilität des Elastomers und der Additive im Öl bei höheren Temperaturen.
2. Molekülketten werden geschwächt und zerstört.
3. Mechanische Beanspruchung aufgrund Reibung.
4. Ermüdungsrisse bilden sich entlang der zerstörten Molekülketten.
5. Ein Ermüdungsriss wird zu einem Kanal und im nächsten Zeitschritt zu einer Blase.
6. Öl wird aufgrund des Pumpmechanismus der Dichtung mechanisch aus der Dichtzone in die Ermüdungsrisse, Kanäle und schließlich in die Blase gepumpt.
7. Die Blase platzt aufgrund der robusten Spritzhaut nicht auf und wird kontinuierlich größer.
8. a) Die Dichtkante wird deformiert und angehoben und die Funktion ist gestört
→ Leckage.

b) Sobald ein Kanal oder eine Blase die Welle kontaktieren kann diese verschleifen und dadurch geöffnet werden → Leckage.

Bestätigte Fakten in diesem Zusammenhang sind:

- Ermüdungsrisse führen zu Kanälen und zu Blasen (zu nachfolgenden Zeiten).
- Blasen bilden sich nicht nur auf der Luftseite, sondern auch unter der Dichtkante und sogar auf der Ölseite.
- Blasen treten bei Dichtringen mit FKM- und NBR-Materialien auf.
- Blasen entstehen nur bei höheren Temperaturen. Oftmals wird gleichzeitig die Dichtkante thermisch geschädigt.

Die daraus abgeleitete Annahme ist:

- Blasen treten nur auf, wenn Additive verwendet werden, niemals bei der Verwendung von unadditivierten Ölen.

Fazit

Blasen sind ein Primärschaden an Elastomer-Radialwellendichtringen – durch eine Öl-Elastomer-Unverträglichkeit hervorgerufen. Dieser Schaden tritt ausschließlich im dynamischen Betrieb bei hohen Temperaturen und nur mit speziellen Additiven auf. Die Blase wird durch den Pumpmechanismus des Dichtsystems aufgepumpt. Dies geschieht durch die Kanäle, die sich aufgrund der zerstörten Molekülketten bilden.

Literatur

- [1] Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI): VDI 3822: Schadensanalyse - Grundlagen und Durchführung einer Schadensanalyse: Beuth. November 2011.
- [2] Bauer, F.; Haas, W.: Failure Analysis of Elastomeric Lip Seals. ICEFA 5, The Hague, Netherlands, Juli 2012, 2012.
- [3] Schmucker, S.; Haas, W.: Gestaltung von Lastkollektiven zur Untersuchung von Radial-Wellendichtungen. 15th International Sealing Conference (ISC), Stuttgart, Germany, October 7 - 8, 2008; Ebelsbach: Leithner Media Production, 2008, S. 87–96 - ISBN 3000258841.
- [4] Müller, H. K.; Nau, B. S.: Fluid sealing technology. Principles and applications, New York: M. Dekker, 1998, - ISBN 9780585128573.
- [5] Prem, E.; Vogt, R.: The Simmering - Basics for preventing damage. Firmenschrift, Freudenberg Simrit GmbH & Co. KG, Weinheim, 2008.
- [6] Dinzberg, B.: Ölkohlaufbau bei dynamischen Wellendichtringen .Evolution, URL: <http://evolution.skf.com/de/lkohlaufbau-bei-dynamischen-wellendichtringen/>. [abgerufen am 26.06.2018].
- [7] VDMA Fachverband Fluidtechnik: Dichtsysteme für fluidtechnische Anwendungen. Schadensatlas, Fachverband Fluidtechnik im VDMA e.V.
- [8] Flitney, R.: Seals and Sealing. Handbook, 6. Auflage, Waltham, USA: Butterworth-Heinemann, 2014, - ISBN 978-0-08-099416-1.

- [9] Bauer, F.: Dichtungen. VDI-Forum Schadensbilder kennen - Pkw-Getriebe zuverlässig auslegen, Karlsruhe, 15. / 16.02.2017, 2017.
- [10] Schulz, F.: Untersuchungen zur Bläschenbildung bei Radialwellendichtringen aus Fluor-Elastomer bei der Abdichtung von Öl. Dissertation, 2000, Technische Universität Hamburg-Harburg, ISBN 3-8265-7755-8.
- [11] Braun, J.: Aktuelle Elastomerverträglichkeitstest-Standards - eine kritische Betrachtung. 16th International Sealing Conference (ISC), Stuttgart, 12./13.10.2010; Ebelsbach: Leithner Media Production, 2010 - ISBN 3000325239.
- [12] Klaiber, M.: Influence of additives in synthetic oils in radial lip seals. 65th STLE annual meeting, Las Vegas, USA, May 16-20, 2010: Society of Tribologists and Lubrication Engineers, 2010.
- [13] Bauer, F.; Haas, W.: Blisters on Radial Lip Seals - A More and More Frequent Failure Mode. 11th EDF/Pprime Workshop, Poitiers, France, 9/2012, 2012.