

20th ISC

Stuttgart, Germany
Oct. 10 – 11, 2018



International Sealing Conference *Internationale Dichtungstagung*

Eine Kooperation von



Fluidtechnik

20th ISC

International Sealing Conference
Internationale Dichtungstagung

Stuttgart, Germany
Oct. 10 – 11, 2018

Sealing Technology –
Beyond Limitations

Dichtungstechnik –
Grenzen überwinden

Eine Kooperation von



Fluidtechnik

© 2018 VDMA Fluidtechnik

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in retrieval systems or transmitted in any form by any means without the prior permission of the publisher.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung sind vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

ISBN 978-3-8163-0727-3

Fachverband Fluidtechnik im VDMA e. V.
Lyoner Str. 18
50628 Frankfurt am Main
Germany

Phone +49 69 6603-1318
Fax +49 69 6603-2318
E-Mail christian.geis@vdma.org
Internet www.vdma.org/fluid

Moderne visuelle Untersuchungsmethoden für die Verschleißanalyse am Beispiel Radial-Wellendichtring

Dr.-Ing. Matthias Baumann, Dr.-Ing. Frank Bauer, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart, Deutschland

1 Einleitung und Hintergrund

Radial-Wellendichtungen werden millionenfach zur Abdichtung von Wellendurchtrittsstellen in Gehäusen eingesetzt. Die Dichtungen funktionieren in erstaunlich vielen Fällen extrem gut. In seltenen Fällen gibt es Leckage und Feldausfälle. In Bild 1 ist das Tribosystem bestehend aus Radial-Wellendichtring (RWDR), Welle, Fluid und den Betriebs- und Umgebungsbedingungen dargestellt.

Inneres Einbaumfeld

Fluidversorgung

--> **Kühlung und Schmierung**

Betriebsbedingungen:

- Wellenlage
- Drehzahl
- Start/Stopp
- Rundlauf
- Schwingungen
- Temperatur

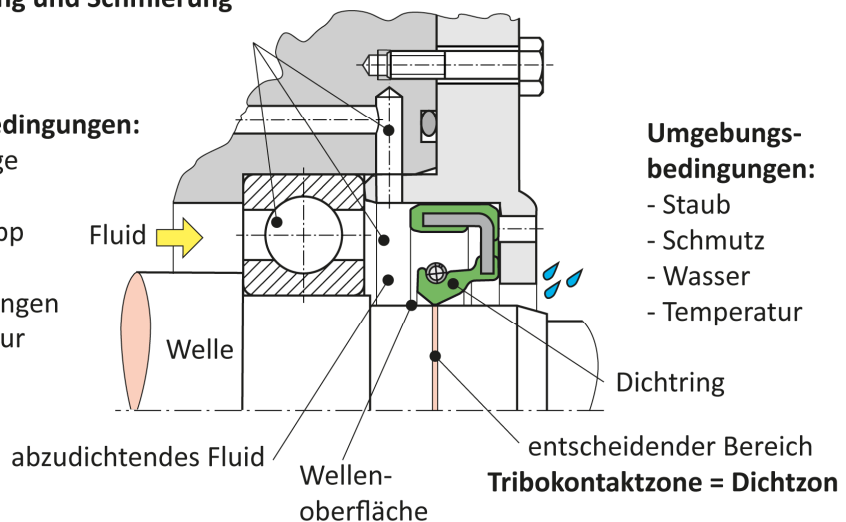


Bild 1: Tribosystem Radial-Wellendichtring

Aufgrund der aktuell zunehmenden Belastung von Radial-Wellendichtungen durch höhere Drehzahlen und Temperaturen z.B. bei E-Mobility Anwendungen oder

anderen Bewegungszyklen (Start-Stopp, Robotik, ...) müssen die Elemente des tribologischen Systems weiterentwickelt werden. Hierfür werden sie im ersten Schritt in tribometrischen, betriebsähnlichen Versuchen im Bauteilversuch getestet. Dies entspricht der vierten tribologischen Prüfkategorie. Zur besseren Zugänglichkeit der Tribokontaktzone – in diesem System der Dichtzone – werden diese Versuche vorzugsweise am Komponentenprüfstand durchgeführt.

Im Falle von Feldausfällen und auch nach den Komponententests müssen die Systemkomponenten einer eingehenden Analyse unterzogen werden. Während des Prüf- oder Testbetriebs nennt man die Analyse im tribologischen Sprachgebrauch Systemanalyse. Der eigentliche Sinn ist allerdings die Beschreibung des Systems und der Betriebs- und Umgebungsbedingungen. Nach dem Versuch nennt man diese Analyse sinnigerweise Schadensanalyse:

Das Ergebnis kann sein, dass ein Schaden aufgetreten ist oder nicht. Das Ziel der Untersuchung besteht darin den Verschleiß und die Auswirkungen der tribologischen Beanspruchungen auf das jeweilige Element zu untersuchen.

Das Vorgehen einer Schadensanalyse ist beispielsweise in VDI 3822 [1] vorgestellt. In Bild 2 ist diese Vorgehensweise abgebildet. Es ist dabei zu beachten, dass die Reihenfolge nicht als strikte Ablaufreihenfolge zu verstehen ist. Beispielsweise ist die Dokumentation des Schadensbildes aus Punkt 1 meist nicht ohne instrumentelle Analysen aus Punkt 4 durchführbar. Eine umfangreiche Beschreibung zur visuellen Schadensanalyse von RWDR und verschiedene Schadensmechanismen wurden vom Autor in [2] vorgestellt. In diesem Beitrag wird speziell auf moderne Methoden zur Analyse der

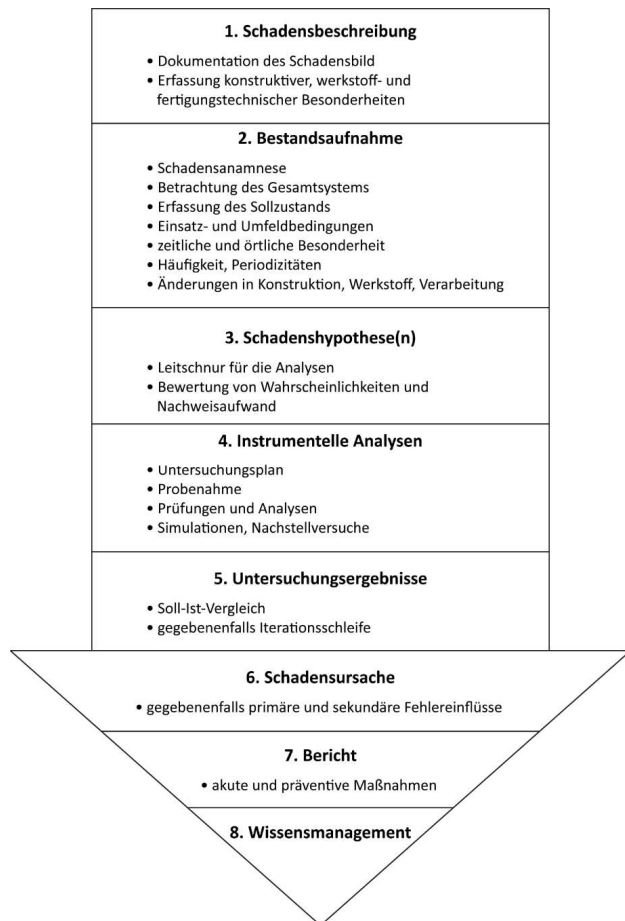


Bild 2: Vorgehen Schadensanalyse nach VDI3822

Verschleißbreite der Dichtkante am RWDR und dessen Innendurchmesser nach dem Prüflauf oder Feldeinsatz eingegangen.

Mit der Verschleißbreite kann der erfahrene Ingenieur abschätzen, warum der Dicht-ring ausgefallen ist oder wie lange er noch am Prüfstand fehlerfrei hätte dichten können. Der Innendurchmesser gibt ebenfalls Hinweise auf die Dichtsituation. Beide Werte werden zum Beispiel bei Prüfläufen (bspw in [3]) von bekannten Industrie-Getriebeherstellern gefordert.

2 Bisherige Untersuchungsmethoden

Innendurchmesser

Nach DIN 3761 Teil 7 [4] wird der Innendurchmesser von Dichtringen mit einem Kegelmessdorn gemessen. Die Kegelform mit eingravierter Durchmesserskala ist festgelegt. Eine Abwandlung hiervon ist der sogenannte Stufendorn. Ein Beispiel hierfür ist in Bild 3 dargestellt. Der Stufendorn weist zylindrische Abschnitte mit fein abgestuften Durchmessern auf. Der Nutzer muss nun den Dichtring vorsichtig auf-schieben und den Innendurchmesser ablesen. Wird der Ring zu schnell oder mit zu viel Kraft aufgeschoben, weitet sich die Dichtlippe auf und es wird ein falscher, meist zu großer Innendurchmesser abgelesen. Die Methode ist also stark Anwenderab-hängig.

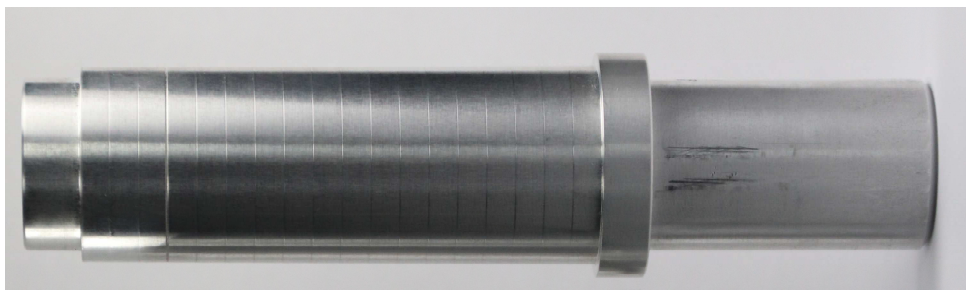


Bild 3: Stufendorn

Verschleißbreite der Dichtkante

Der Dichtring ist, wie es der Name schon sagt, ein geschlossener Ring. Die Dicht-kante, an der der Verschleiß vermessen werden soll liegt im Inneren. Die Betrachtung kann wie in Bild 4 dargestellt daher nicht senkrecht erfolgen. Auch eine Schrägstellung des Mikroskops ist durch die, meist zu kurzen, Arbeitsabstände der Objektivseite meist nicht zielführend. Sie führen zu Fehlinterpretationen durch unscharfe Bildbereiche und durch Verkippung zu falsch gemessenen Verschleißbreiten. Will man qualitativ gute Mikroskopbilder und richtige Messergebnisse erzielen müssen andere Vorgehensweisen und Methoden verwendet werden.

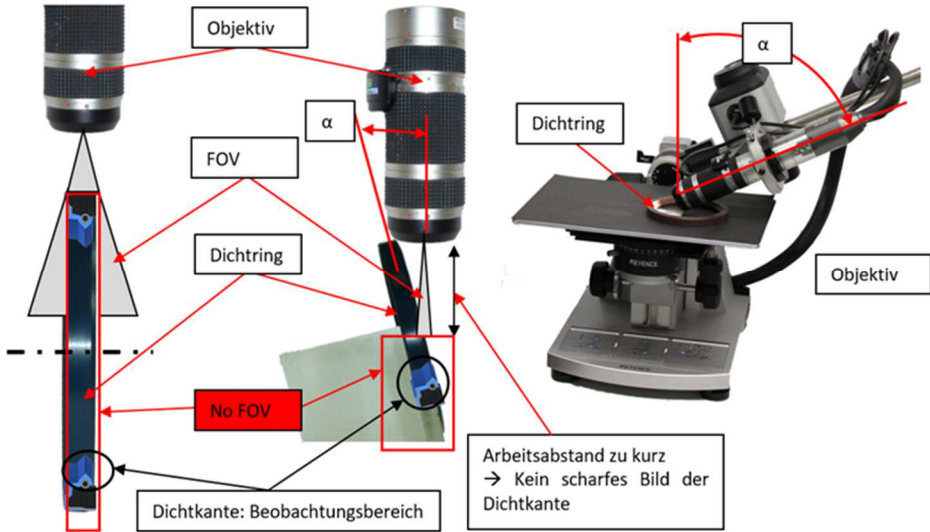


Bild 4: Mikroskopische Begutachtung ohne spezielle Vorrichtungen

Auch die Verwendung eines Umlenkspiegels (Bild 5 li.) alleine führt nicht zum Ziel, da die entlastete Dichtkante meist immer noch verkippt analysiert (Bild 6) wird. Der Umweg über eine Glashohlwelle (Bild 5 re.), auf der der Dichtring montiert wird, ist auch nicht empfehlenswert, da dadurch vorhandene Rückstände (Verschleiß-/Schmutzpartikel, Fluidreste, ...) abgewischt werden.

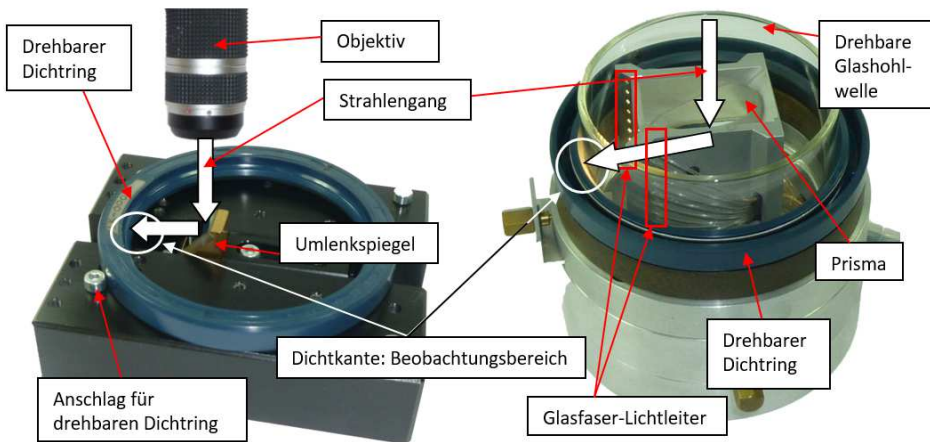


Bild 5: Mikroskopische Begutachtung mit Prisma



Bild 6: Darstellung verkippter Verschleißbereich

3 Moderne Untersuchungsmethoden

Die in DIN 3761 genannten Methoden stammen aus den 70er und 80er Jahre des letzten Jahrtausends. Heute stehen mehrere moderne Untersuchungsmethoden zur Analyse zur Verfügung.

Messung des RWDR Innendurchmessers

1. Eine Möglichkeit, wie die Innendurchmesser vermessen werden könnten, ist zum Beispiel mit einem Profilprojektor zu Arbeiten. Allerdings funktioniert diese Methode ausschließlich, wenn keine Schutzlippen vorhanden sind, da nur ein Durchmesser erkannt werden kann. Das Verfahren ist also nicht universell genug.
2. Eine andere Möglichkeit ist, eine 3D-Koordinatenmessmaschine zu verwenden. Solch ein Messgerät ist zwar mit enormen Kosten verbunden, ist es aber bereits vorhanden, kann das Messprotoll einfach angepasst werden. Die standardmäßig verwendete Kugel am Messtaster kann hier allerdings zur Fehlerquelle werden. Besser ist es einen Tastzylinder zu verwenden.
3. Die dritte hier vorgestellte Möglichkeit ist, die Geometrie der Dichtlippe, der Dichtkante und der eventuell vorhandenen Schutzlippen mit einem Linienlaser dreidimensional zu vermessen. Diese komfortable und vom Anwender unabhängige Variante wird später im Text beschrieben.

Messung der Verschleißbreite der Dichtkante

In [2] wurde vorgestellt wie man mittels Umlenkspiegel auf optimale Weise mit dem IMA-Sealobserver (Bild 7 und Bild 8) gute Ergebnisse erzielen kann. Mit der verkippbaren Platte des IMA-Sealobservers wird die entlastete Dichtkante so verkippt, dass sie senkrecht zur optischen Achse steht. Dadurch wird der gesamte Verschleißbereich der Dichtkante im tiefenscharfen Bildbereich abgebildet.

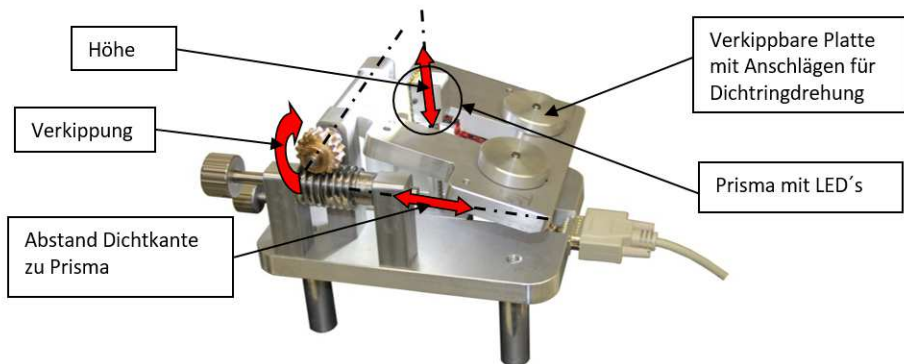


Bild 7: Mikroskopische Begutachtung mit IMA-Sealobserver

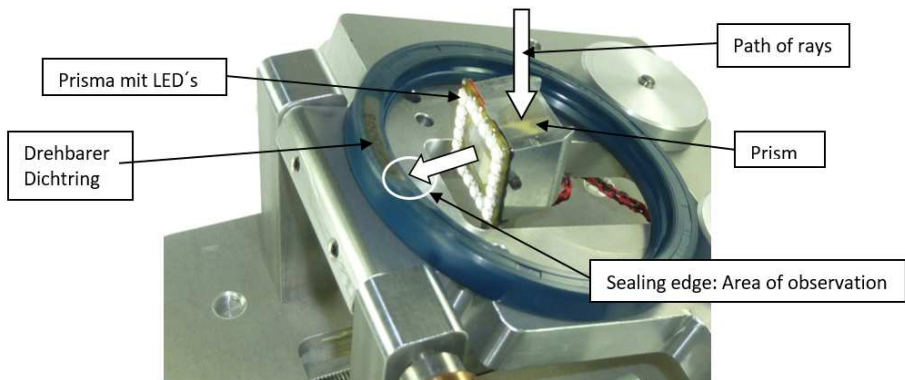


Bild 8: Mikroskopische Begutachtung mit IMA-Sealobserver - Detailsicht

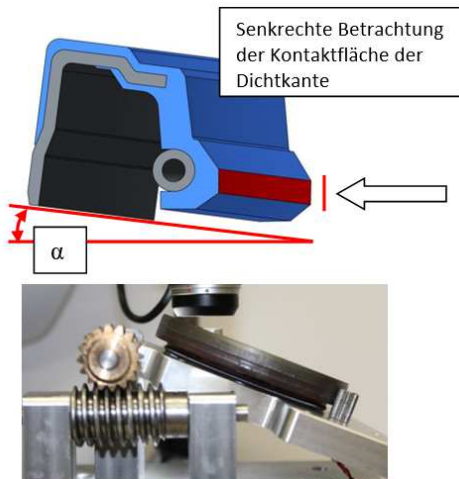


Bild 9: Mikroskopische Begutachtung nach Ausrichten des RWDR

Die Größenordnung der Differenz dieser beiden Werte ist ein maßgeblicher Indikator für die Funktion des Dichtsystems. Eine stark asymmetrische Verschleißbreite am Umfang deutet zum Beispiel auf schlechte Schmierbedingungen oder auf einen exzentrischen Einbau des Dichtrings hin. Alternativ zur händischen Analyse am Mikroskop, kann die Verschleißbreite auch komplett automatisiert mit dem IMA-Sealscanner vermessen werden.

IMA-Sealscanner

Der IMA-Sealscanner ist ein Messgerät, welches am Institut für Maschinenelemente von Grund auf neu entwickelt wurde um den Dichtkantenverschleiß von Radial-Wellendichtringen in kurzer Taktzeit und ohne Anwendereinfluss zu messen. Ferner kann das Messgerät dafür verwendet werden, die Dichtkantenengeometrie sowie den Innendurchmesser verschiedenster Dichtringe zu vermessen. Das Gerät, vergl. Bild 10, besteht aus einer Grundplatte, auf dem eine Säule und eine Führungsschiene montiert sind.

Der Dichtring wird mit dieser Methode von innen mit einem Mikroskop betrachtet. Da der Abstand von Prisma zu Dichtkante immer gleich groß ist, ist das Bild der Dichtkante beim Drehen immer scharf. Auf diese Weise kann der gesamte Umfang der Dichtkante in kurzer Zeit visuell betrachtet, analysiert und digital abgespeichert werden. Mithilfe der mitgelieferten Mikroskop-Software können die Verschleißbreiten dann einzeln vermessen werden. Eine alternative hierzu ist, diese Aufgabe automatisiert per Software ausführen zu lassen.

Wichtig ist, dass man die minimale und die maximale Verschleißbreite am jeweiligen Dichtring findet. Die



Bild 10: Aufbau IMA-Sealscanner

An der Säule befindet sich eine motorisierte Linearachse, mit deren Hilfe ein Lichtschnittsensor mit Umlenkspiegel in der Höhe verfahren werden kann. Eine ebenfalls motorisierte Rotationseinheit mit Dreibackenfutter ist quer zur Linearachse mittels Führungsschlitten verschiebbar und ermöglicht somit die Einstellung des Messgerätes auf verschiedene Abdichtdurchmesser. Ein im Dreibackenfutter eingespannter Dichtring kann von Innen vermessen werden, indem die Lasereinheit mit dem Umlenkspiegel in den Dichtring verfahren wird und dieser anschließend in Rotation versetzt wird. Hierbei werden pro Dichtring 10.000 Querschnittsprofile in äquidistanten Abständen um den gesamten Umfang des Dichtringes aufgezeichnet. Die Verwendung einer RWDR-Aufnahme mit einer referenzierten Messfläche ermöglicht es hierbei einen festen Koordinatenbezug herzustellen und die Messwerte in Absolut-Koordinaten umzurechnen. Dies ist anschließend notwendig um den exakten Innendurchmesser des RWDRs zu bestimmen.

Das Messprinzip, mit dem die Messdaten erzeugt werden, wird als Laser-Linien-Triangulation bezeichnet. Hierbei wird ein, auf eine Linie ausgeweiteter Laserstrahl

erzeugt, der in einem definierten Messabstand auf die RWDR Oberfläche auftrifft, Bild 11. Die von dieser Oberfläche diffus reflektierte Laserstrahlung gelangt, abhängig vom Messabstand, in eine auf den Messbereich gerichtete Optik und trifft auf einen Sensor. Aus der Position der Abbildung auf dem Sensor lässt sich mittels Triangulation die Höheninformation des aufgenommenen Profils ermitteln.

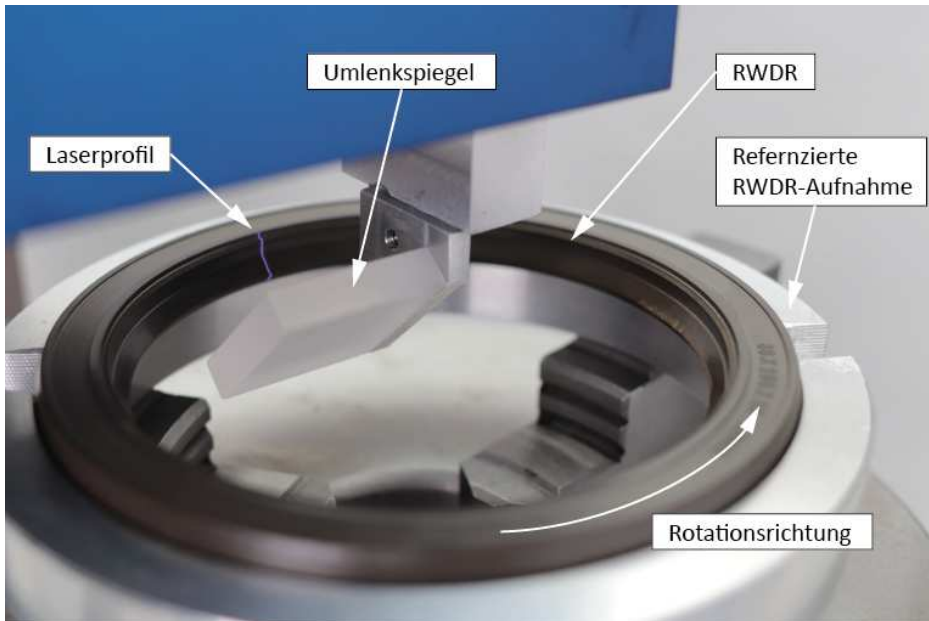


Bild 11: IMA-Sealscanner Detailansicht

Die so gewonnenen Messdaten liegen nach der Vermessung in einem 2,5D Koordinatensystem in Form der abgewickelten Innengeometrie des vermessenen Dichtringes vor. Verschleiß und Innendurchmesser werden an jedem einzelnen gemessenen Querschnittsprofil algorithmisch und somit automatisiert und anwenderunabhängig ausgewertet, vergl. Bild 12 und Bild 13. Die maximale und minimale Verschleißbreite zusammen mit der jeweiligen Umfangsposition werden automatisch bestimmt und in einem Polardiagramm dargestellt. Eine Auswertung im Batchmodus ermöglicht die Auswertung mehrerer Messdatensätze, wobei die entsprechenden Messwerte direkt in tabellarischer Form aufbereitet und zur Verfügung gestellt werden.

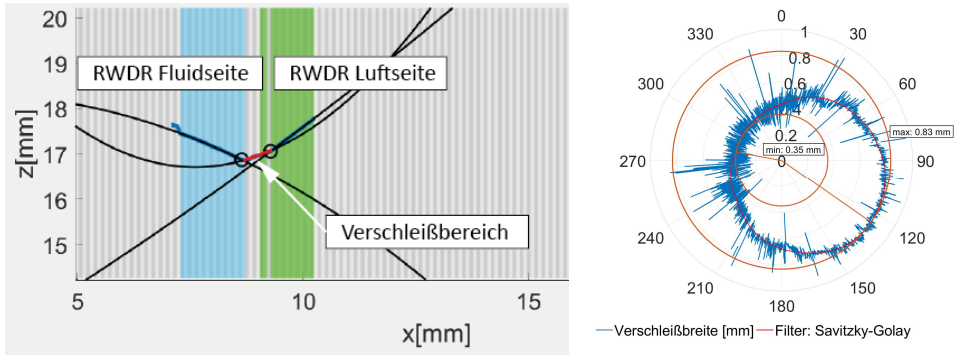


Bild 12: Darstellung der Verschleißauswertung

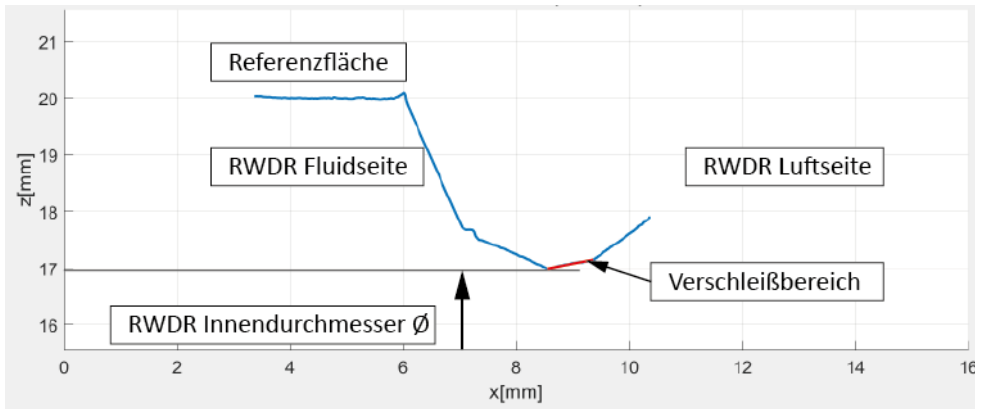


Bild 13: Berechnung des RWDR-Innendurchmessers

4 Moderne Vorgehensweise

Wichtig bei Feldausfällen ist, dass die Dichtringe nicht gereinigt oder weiter verunreinigt werden. Am besten ist es, die Dichtringe direkt nach dem Ausbau in Tüten zu verpacken. Nach Prüfstandsversuchen ist es ebenso wichtig, den Dichtring sorgfältig zu demontieren. Der Dichtring sollte so gelagert werden, dass die Flüssigkeit der Fluidseite nicht über die Luftseite fließen kann.

Folgende Analyse-Reihenfolge hat sich in der Praxis bewährt:

1. Zuerst die Bilder im ungereinigten Zustand erstellen. Da im Nachhinein dieser Zustand nicht mehr erreicht werden kann und somit wichtige Erkenntnisse verloren gehen könnten, ist es eminent wichtig alle Auffälligkeiten am kompletten Umfang zu dokumentieren.
2. Anschließend müssen die Dichtringe sorgfältig gereinigt werden. Bei FKM- und PTFE-Werkstoffen kann zum Beispiel Aceton für eine rückstandsfreie Reinigung verwendet werden. Andere Werkstoffe hingegen könnten durch die Verwendung von Aceton beschädigt werden. Hier empfiehlt sich eine Rücksprache mit dem jeweiligen Dichtring-Hersteller, welche Reinigungsmittel verwendet werden können.
3. Visuelle Analyse der gereinigten Dichtkanten.
4. Berührungsfreie Innendurchmesser-Analyse.
5. Radialkraftmessung.
6. In diesem Schritt können ergänzend zerstörende Methoden, wie zum Beispiel Materialschnitte oder REM-Analysen durchgeführt werden.

Alle Analyse-Ergebnisse müssen zusammengeführt und in einem Bericht dokumentiert werden.

5 Zusammenfassung

Die beschriebenen modernen Untersuchungsmethoden helfen dem Anwender sich auf besondere Aspekte zu konzentrieren und die wenig zur Verfügung stehende Zeit effektiv einzusetzen. Außerdem werden mit der Hilfe von modernen Hilfsmitteln und Algorithmen die Ergebnisse deutlich besser vergleichbar und vom Anwender unabhängig. Damit können entsprechende Teilaufgaben wie die Verschleißbreiten- und Innendurchmesser-Messung auch von Nicht-Experten durchgeführt werden.

6 Literaturverzeichnis

- [1] VDI 3822: Schadensanalyse - Grundlagen und Durchführung einer Schadensanalyse: Beuth. November 2011
- [2] Bauer, F: Visual Failure Analysis of dynamic sealing system. 4th International Conference Integrity – Reliability – Failure, Funchal, Portugal 6/2013, ISBN:978-972-8826-28-4)
- [3] A. Hüttinger, J. Hermes, M. Wöppermann und Prem E., „Neues Prüfverfahren für dynamische Dichtungen von Getriebemotoren“ in Dichtungstechnik Jahrbuch 2016, 2015, S. 482–494.
- [4] DIN 3761-7: Radial-Wellendichtringe für Kraftfahrzeuge - Prüfung; Kegelmessdorn, Berlin: Beuth. Januar 1984.