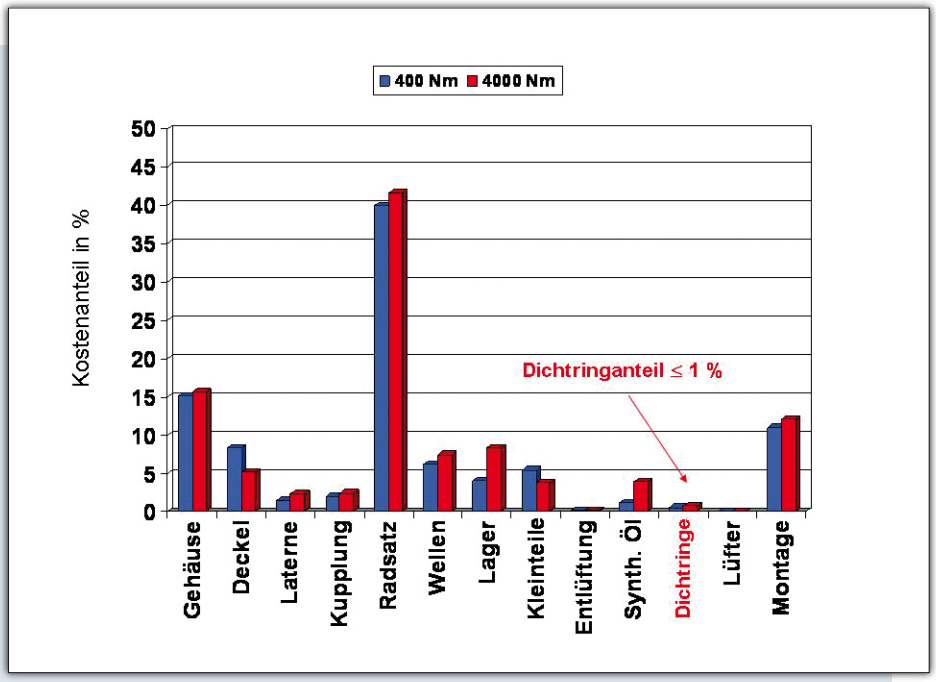
Firmenübergreifende Zusammenarbeit

Längere Lebensdauer des Radialwellendichtrings



1: Kostenverteilung am Beispiel mehrstufiger Industriegetriebe.

Kaj Sellschopp

Der Radialwellendichtring (RWDR) ist in der allgemeinen Antriebstechnik ein außerordentlich verbreitetes Maschinenelement. Er gewährleistet die Abdichtung rotierender Wellen von Motoren und Getrieben und sorgt damit vor allem für den Verbleib des Schmierstoffes in den Aggregaten. Den hohen Anforderungen an dieses Maschinenelement steht oft ein relativ kleiner Kostenanteil am Endprodukt gegenüber, der bei Industriegetrieben in der Regel weniger als 1 % der Gesamtherstellungskosten ausmacht (Bild 1). Die Folgekosten eines Ausfalles können dagegen schnell beträchtliche Größenordnungen annehmen. Insbesondere hieraus resultieren zahlreiche Forderungen der Maschinen- und Anlagenbauer, die Zuverlässigkeit der Dichtstellen noch weiter zu erhöhen.

Kaj Sellschopp *ist Leiter Entwicklung + Konstruktion der ZAE-AntriebsSysteme GmbH & Co KG.*

Ein bekannter Antriebs- und Systemlieferant forderte von einem Getriebehersteller, die Dichtstellen eines Getriebes konstruktiv so auszulegen, dass nachweislich mehr als 20 000 Betriebsstunden mit einer Überlebenswahrscheinlichkeit größer 99,9% erreicht werden. Zur Bearbeitung dieser Aufgabe wurde eine firmenübergreifende Arbeitsgruppe aus Spezialisten des Systemlieferanten, des Getriebeherstellers sowie eines Dichtungs- und eines Schmierstoffherstellers gebildet. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden im Folgenden vorgestellt.

Allgemeine Einflussgrößen

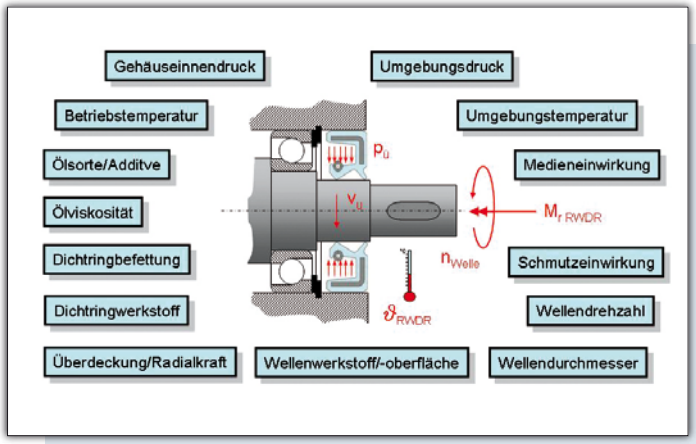
Das Problem, welchem sich beispielsweise die Getriebehersteller gegenübersehen, ist die große Vielfalt von Faktoren, die die Lebensdauer einer dynamischen Dichtstelle beeinflussen (**Bild 2**). Neben sorgfältiger Fertigung und sauberer Montage sind es vor allem die Dichtringausführung sowie die Lauf- und Schmierbedingungen, die von entscheidender Bedeutung sind. Demzufolge gibt es bis heute nur wenige Anhaltspunkte, geschweige denn Berechnungsgrundlagen, um die Dichtringlebensdauer gesichert vorherzusagen.

Interdiziplinäre Zusammenarbeit

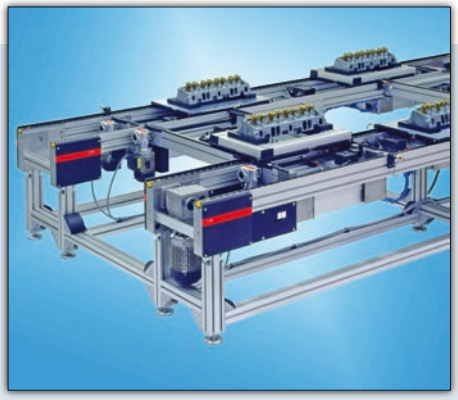
Die Forderung der Firma Bosch Rexroth an eine Getriebereihe der Firma ZAE-Antriebs-Systeme, die Dichtstellen konstruktiv so auszulegen, dass nachweislich mehr als 20 000 Betriebsstunden mit einer Überlebenswahrscheinlichkeit größer 99,9% erreicht werden, führte dazu, dass sich für die Bearbeitung der Aufgaben eine firmenübergreifende Arbeitsgruppe bildete.

Die Forderung nach der hohen Lebensdauer leitet sich aus dem industriellen Dauereinsatz der Getriebe in qualitativ hochwertigen Transfersystemen für die Montagetechnik ab. Diese Systeme, für die ein Höchstmaß an Zuverlässigkeit gefordert wird, werden von Bosch Rexroth gefertigt und vertrieben (**Bild 3**).

Ausgehend von diesem konkreten Anwendungsfall befasste sich die Arbeitsgruppe, bestehend aus Mitarbeitern der Firmen



2: Lebensdauer beeinflussende Faktoren einer dynamischen Dichtstelle.



3: Transferstrecke von Bosch Rexroth mit ZAE-Getrieben.

Bosch Rexroth, Freudenberg-Simrit, Klüber Lubrication und ZAE-AntriebsSysteme, damit, eine hoch beanspruchte Dichtstelle konstruktiv so auszulegen, dass mehr als 20 000 Betriebsstunden mit hoher Wahrscheinlichkeit erreichbar sind. Die hierbei erzielten Erkenntnisse sollen später verallgemeinert und in weitergehenden gemeinsamen Untersuchungen vertieft werden.

Fast parallel zur Entstehung dieser Arbeitsgruppe starteten die beiden zu Freudenberg gehörenden Unternehmen Simrit und Klüber Lubrication das Projekt „Lube and Seal“. Dieses verfolgt ganz ähnliche Zielsetzungen, nämlich ideale Betriebsbedingungen für Simmerringe zu erforschen und praktisch umzusetzen sowie verlässliche Grundlagen für eine Lebensdauerabschätzung zu erarbeiten.

Untersuchungen zu Betriebsbedingungen

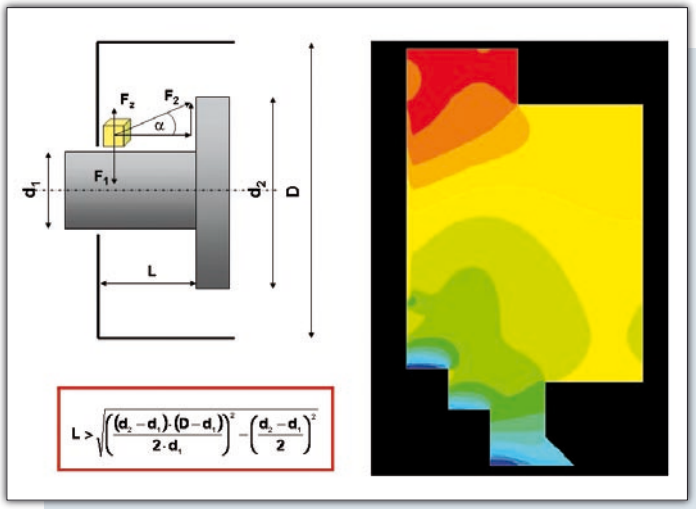
Zunächst wurden bei ZAE-AntriebsSysteme die vorliegenden Betriebsbedingungen des Dichtringes an der kritischen Stelle hinsichtlich der Einflussfaktoren auf die Lebensdauer untersucht. Dabei standen vorrangig die Gestaltung der Dichtringumgebung im Hinblick auf ausreichende Schmierung und Kühlung, der Einfluss der Ölviskosität und die Übertemperatur an der Dichtkante im Mittelpunkt.

Der Einfluss der konstruktiven Gestaltung der Dichtringumgebung wurde zunächst theoretisch mit Hilfe analytischer und numerischer Berechnungen der Geschwindigkeits- und Druckverteilung im Ringraum zwischen Dichtring und Wälzlager untersucht (**Bild 4**). Diese Untersuchungen lieferten bereits wertvolle Ansätze zur Optimierung des Systems.

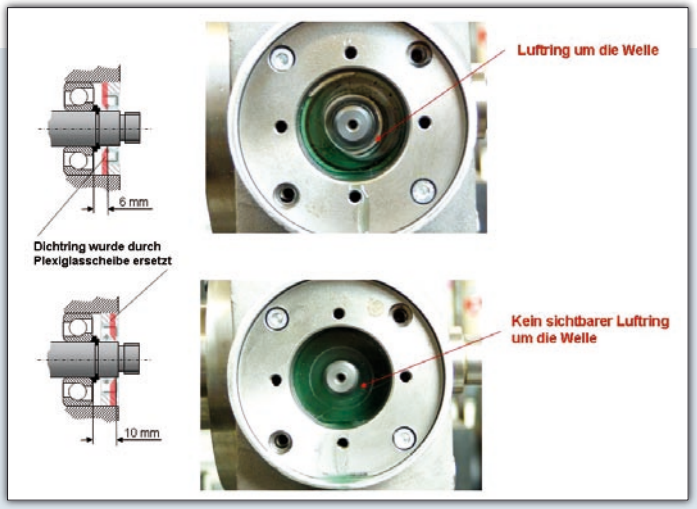
Erstaunlich war zunächst die Feststellung, dass Wellenschultern in der Nähe des Dichtringes unter bestimmten Voraussetzungen den erforderlichen Schmierstoff von der Dichtkante abziehen können. Über Gleichgewichtsbedingungen am Fluidelement können einzuhaltende Mindestabstände *L* zu einer Wellenschulter abgeschätzt werden. Eine CFD-Rechnung zeigt anschaulich das entstehende Druckgefälle und die daraus resultierende Sogwirkung in farblicher Darstellung. Die dunkelblauen Bereiche sind diejenigen mit dem geringsten statischen Druck.

Da die Berechnungen auf vereinfachten Annahmen beruhten, wurden die Verhältnisse im Ringraum und an der Dichtkante mittels einer Plexiglasscheibe experimentell im Detail untersucht (**Bild 5**). Der Dichtring wurde dabei durch ein Plexiglasteil mit einer nachgebildeten Dichtkantengeomtrie ersetzt und das Öl zudem grün eingefärbt. So wurde es möglich, die Schmierbedingungen insbesondere im Dichtkantenbereich genau zu beobachten. Die theoretisch ermittelten Einflüsse ließen sich damit überraschend gut nachvollziehen und verifizieren.

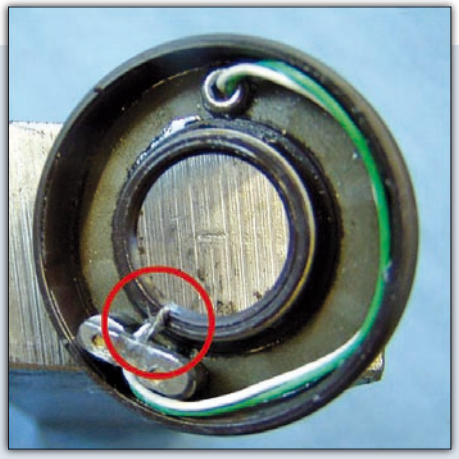
Die Untersuchungen wurden des Weiteren bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt. Es zeigt sich, dass die beobachteten Effekte, die zu einer Mangelschmierung der Dichtkante führen, bei höherer Temperatur, also bei niedriger Viskosität, tendenziell noch verstärkt werden. Parallel wurden mittels eines kleinen Thermoelementes, welches unmittelbar an der Dichtkante eines Dichtringes angebracht wurde, das Temperaturverhalten untersucht und die sich einstellenden Übertemperaturen ermittelt (**Bild 6**). Bei auftretender Mangelschmierung steigen die Tem-



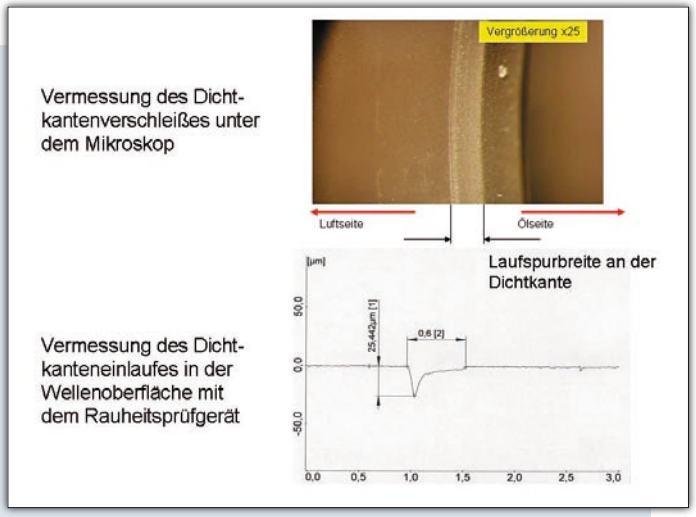
4: Analytische und numerische Berechnungen zur Druckverteilung im Ringraum.



5: Experimentelle Untersuchungen zu den Schmierbedingungen zweier Varianten.



6: Applizierter Temperaturfühler in unmittelbarer Dichtkantennähe.



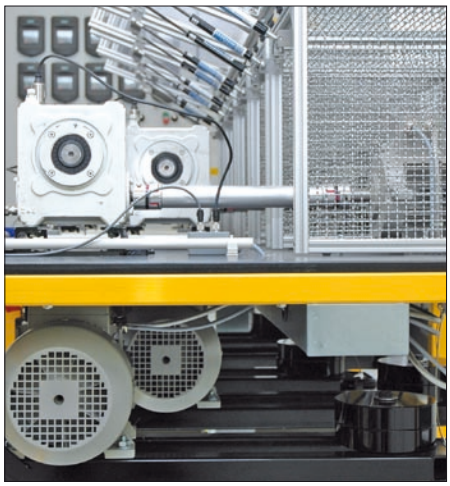
7: Weitergehende Untersuchungen an RWDR.

peraturen in der Nähe der Dichtkante deutlich an. Die Übertemperatur in der Messposition kann um 20 K und mehr ansteigen. Der Betrag des Anstieges ist aber auch abhängig vom Dichtringwerkstoff.

Durch Reduzierung des Ringraumdurchmessers *D* und die Verbesserung der Ölzirkulation konnte das Öl nachweislich sicher an der Dichtkante gehalten und damit für günstige Schmier- und Kühlbedingungen in der Kontaktzone von Welle und Dichtring gesorgt werden.

Dauerversuche

Die in den Voruntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse wurden anschließend konstruktiv umgesetzt. Zahlreiche Testgetriebe wurden im Labor bei dem Getriebehersteller ZAE-AntriebsSysteme und dem Anlagenbauer Bosch Rexroth im Dauerversuch über jeweils mehrere tausend Stunden getestet. Dabei wurden verschiedene Dichtringwerkstoffe (NBR, FKM, FKM modifiziert) in Verbindung mit unterschiedlichen Fetten und Ölen erprobt. Die optimierte Ringraumgestaltung in Verbindung mit optimierten Ölzirkulationskanälen sowie der Einsatz des optimierten Dichtringelastomers 75FKM170055 von Freudenberg ermöglichten zunächst im Laborversuch unter Nennbedingungen bei zirka 50°C im Ölsumpf das Erreichen von über 20 000 Betriebsstunden bei einer außerordentlich geringen Ausfallquote. Eine deutliche Erhöhung der Belastung und damit der Temperatur zeigte aber auch, dass die Lebensdauer unter verschärften Bedingungen deutlich absinkt und in grober Nährung der K15-Regel folgt. Die K15-Regel besagt, dass sich je 10 bis 15 K Temperaturerhöhung die Lebensdauer eines Elastomerwerkstoffes mindestens halbiert.



8: Prüfstand der Firma Klüber Lubrication für praxisnahe Dichtringtests.

Begleitet wurden die Dauerversuche durch Analysen der Dichtringe und Gegenlaufflächen bei Freudenberg und Klüber Lubrication. Zahlreiche visuelle, geometrische und chemische Untersuchungen stützen die positiven Ergebnisse der vielen Laufversuche (**Bild 7**). Interessant war in diesem Zusammenhang die Anwendung der sogenannten Chemielumineszenz-Analyse, die eine konkrete Aussage über den Alterungszustand eines NBR-Werkstoffes ermöglicht. Mit ihrer Hilfe können beispielweise Restlebensdauern der Elastomere abgeschätzt werden. Leider kann diese Untersuchungsmethode nicht auf FKM-Werkstoffe angewendet werden.

Die sich anschließenden Feldbeobachtungen an mehreren tausend Antrieben haben die positiven Laborergebnisse voll bestätigen können. Die Zahl frühzeitiger Ausfälle ist praktisch auf null gesunken.

Konsequenzen bei den Herstellern

Nachdem die spezifischen Untersuchungen an dem ZAE-Getriebe weitgehend abgeschlossen sind, läuft das Projekt „Lube and Seal“ in der Freudenberg-Gruppe weiter. Zahlreiche Untersuchungen zur konstruktiven Gestaltung der Dichtstelle und ihrer Umgebung sowie zu Werkstoff-Schmierstoffkombinationen sollen nun folgen.

Freudenberg und Klüber Lubrication haben zu diesem Zweck in Zusammenarbeit mit ZAE-AntriebsSysteme einen Prüfstand mit fünf Getrieben für praxisnahe Versuche entwickelt (**Bild 8**). Auch die Firma ZAE-AntriebsSysteme hat ihre Prüfmöglichkeiten für RWDR in den letzten Jahren erweitert und einen Prüfstand aufgebaut, mit dem dynamische Dichtstellen verschiedener Ausführungen und Abmessungen unter verschiedensten Bedingungen hinsichtlich Reibmoment, Temperatur und Lebensdauer einzeln getestet werden können.

Zusammenfassung und Ausblick

Die bisherigen dynamischen Untersuchungen haben zu einem weitaus besseren Verständnis des Verhaltens von Dichtstellen beigetragen. Die wichtigsten Erkenntnisse betreffen die Gestaltung der Dichtringumgebung im Detail, die Dichtringwerkstoffe und die Schmierstoffe. So konnten Leitlinien zur Gestaltung der Ringraumgeometrie und der Schmierstoffversorgung der Dichtkante erarbeitet werden. Auch zum Alterungsverhalten von NBR-Werkstoffen und zum Langzeitverhalten des neuen Fluorkautschuk-Werkstoffes (75FKM170055) von Freudenberg konnten wichtige Erfahrungen gesammelt werden. Schließlich konnten Aussagen zum Verhalten unterschiedlicher Schmierstoffsorten und zum Einfluss der Schmierstofftemperatur getroffen werden.

Die Zusammenarbeit in der Arbeitgruppe wird weitergeführt. In regelmäßigen Treffen werden Ergebnisse diskutiert und weitere Schritte beschlossen. Im Fokus der zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsarbeit stehen zahlreiche Themenfelder, wie verbesserte Elastomerwerkstoffe, optimierte Schmierstoffe, Wellenoberflächengestaltung und quantifizierbare Angaben zur erzielbaren Lebensdauer einer Dichtstelle.

ZAE-ANTRIEBSSYSTEME
4219860

WWW
www.vfv1.de/#4219860

Weitere Informationen zum Einhefter AMA über die Kennziffer **4154670**
oder unseren ServiceLink www.vfv1.de/#4154670 ▶