

## Summaries

## Zusammenfassungen

## I – Session 1: Introduction Lectures

## I – Session 1: Einführungsvorträge

I 1

**Dr. Matthew Novak**, Joanna Schmit, Ph.D. Bruker Nano Surfaces, Tucson, Arizona, USA

**Corrosion, Friction and Wear: 3D Microscopes Shed Light on Functional Sealing Surfaces**



EN

When material surfaces work together as they do in dynamic sealing systems, it is important to understand surface imperfections, texture and other important surface topography characteristics. Variations in the shaft surface, including corrosion, induced wear, roughness variation and general surface imperfections may influence and impact functional sealing system performance. These influences may include for example increased friction and energy expenditure, the possibility of leakage or failure, as well as degraded integrity or lifetime of the sealing system.

Additionally, corrosion and wear over the lifetime of a shaft sealing system adversely affects the performance of a functional sealing system. It is therefore valuable to assess via tribological research the functional materials and the relevant aspects of topography of surfaces in contact and working in cooperation to achieve functional performance.

This paper, describes the use of 3D microscopes based on White Light Interferometry (WLI) for the surface analyses. Further examples are given how this technology can help to quantify corrosion and wear including volume removal, depth and diameter of defects on surfaces of interest.

**Korrosion, Reibung und Verschleiß: 3D-Mikroskope beleuchten funktionale Dichtflächen**

Wenn Oberflächen wie in dynamischen Dichtungen interagieren ist es wichtig, Fehlstellen, Textur und weitere wichtige Topographieeigenschaften zu kennen. Abweichungen der Wellenoberfläche durch Korrosion, Rauheit und Fehlstellen im Allgemeinen können die Funktion der Dichtung beeinflussen. Dies kann z. B. Reibung und Verlustleistung erhöhen oder zu Leckage und Ausfall führen bzw. in Folge von Schädigung die Lebensdauer verkürzen. Zusätzlich wirken sich Korrosion und Verschleiß während der Lebensdauer der Dichtung negativ auf deren Betriebsverhalten aus. Eine tribologische Bewertung von eingesetzten Materialien und relevanten Topographieeigenschaften der Kontaktflächen ist zum Erreichen des gewünschten Betriebsverhaltens bedeutend. Dieser Beitrag beschreibt den Einsatz eines Weißlicht-Interferometers zur Oberflächenanalyse. Es werden Beispiele gezeigt, wie diese Technologie bei der Quantifizierung von Korrosion und Verschleiß eingesetzt werden kann. Hierbei werden Volumen, Tiefe und Breite der Fehlstellen betrachtet.

I 2

**Dr.-Ing. Uwe Wallner**, ElingKlinger Kunststofftechnik GmbH, Bietigheim-Bissingen, Germany, Dr.-Ing. Manfred Achenbach, Ingenieur- + Sachverständigenbüro Achenbach, Bietigheim-Bissingen, Germany

**Influence of a Metal Spring on the Low Temperature Behaviour of Thermoplastic Polyurethane Seals**

Thermoplastic polyurethanes are indispensable for modern hydraulic and pneumatic applications. Special materials exist for applications operating at very low temperatures. But for some applications the good current thermal properties are not sufficient anymore.

PTFE is often used at extremely low temperatures. However, the problem with these materials often is their lack of elasticity. Therefore, PTFE-seals normally are designed with a spring to improve the dynamical reaction. Is there hence something more obvious than to combine polyurethanes having good wear and dy-

**Verbessert eine Federvorspannung die Tieftemperatureigenschaften von thermoplastischen Polyurethanen?**



DE

Thermoplastische Polyurethane sind aus den heutigen Hydraulik und Pneumatik Anwendungen nicht mehr wegzudenken. Auch für Tieftemperaturanwendungen gibt es spezielle Werkstoffe. Doch es gibt vereinzelt Anwendungen, wo die guten Tieftemperatureigenschaften nicht mehr ausreichen.

Für extreme Tieftemperaturen wird gerne PTFE eingesetzt. Allerdings fehlt diesem Werkstoff die häufig geforderte Elastizität. PTFE Dichtungen werden daher in der Regel mit einer Feder ausgestattet um dynamisch reagieren zu können. Was liegt also näher, Po-

namic properties with a spring to achieve a functional dynamic sealing system at extremely low temperatures?

By means of FEM calculations could be shown, that a metal spring can help to extend the low-temperature rating of TPU seals further down. The result is admittedly just a few degrees Kelvin. This enhancement is incommensurate with the raised sealing force at higher temperature, e.g. ambient temperature. The high radial contact force causes the disadvantage of high friction forces at these temperatures. The only way to improve the low-temperature behaviour of a seal with simultaneously limited friction forces is a modification of the material properties to a low glass transition point.

lyurethan Werkstoffe mit ihren guten Verschleiß- und dynamischen Eigenschaften, ebenfalls mit einer Feder auszustatten, um auch bei sehr tiefen Temperaturen noch ein funktionstüchtiges, dynamisches System zu haben.

Mit Hilfe von FEM Simulationen konnte gezeigt werden, dass der Einsatz einer Metallfeder durchaus in der Lage ist die Tieftemperaturgrenze von Dichtungen aus TPU nach unten zu verschieben. Allerdings sind dies nur wenige Kelvin. Dieser Temperaturgewinn steht aber in keinem Verhältnis zu der erhöhten Dichtungskraft bei höheren Temperaturen, z.B. Raumtemperatur. Die große radiale Kontaktkraft führt bei höheren Temperaturen zu hohen Reibkräften, was für eine dynamische Dichtung von großem Nachteil ist. Will man eine Verbesserung im Tieftemperaturverhalten einer Dichtung herbeiführen und gleichzeitig die Reibungskraft in Grenzen halten, bleibt nur der Ausweg über eine Werkstoffmodifikation mit niedrigerem Glasübergangspunkt.

## A – Session 2: Materials

## A – Session 2: Werkstoffe

### A 1

**Thomas Ø. Larsen, Ph.D.**, Søren Slot, Birger Dühring, Trelleborg Sealing Solutions, Helsingør, Denmark

#### Pressure-Velocity Study of an Optimized Single Acting PTFE based Rotary Seal

#### *Zum Einfluss von Druck und Drehzahl auf das Verhalten einer optimierten einfach wirkenden PTFE basierten Rotationsdichtung*



Rotary seals for pressurized media are working under very demanding conditions with no or only limited lubrication under the dynamic seal face. This may result in high friction, wear and release of thermal energy. Seal materials with limited resistance to temperature may only be used for short durations and intermittent service. In addition, the friction forces are circumferential and thus induce the seal to move in the direction of the rotary surface, which can cause an erratic performance and significantly damage the seal and the O-ring.

In order to cope with the demanding conditions outlined above, an O-Ring energized, single-acting seal design has been optimized for rotary, swivelling and helical movements primarily targeted at applications with difficult service conditions.

This paper reports the out-come of several demanding rotary tests performed at different pressure-velocity (PV) conditions. The mode of operation is continuous rotation at fixed speed and pressure. Three PTFE-based seal materials with different characteristics are applied for the testing: PTFE with carbon fibres, PTFE with mineral fibres and PTFE with polyaramide.

Overall, the results show a very robust, reliable and consistent performance at all applied PV conditions. The three materials show similar trends in some respects and interesting differences in others. These differences are shown and discussed in the paper.

Druckbelastete Rotationsdichtungen arbeiten unter sehr anspruchsvollen Bedingungen und wenig bis keinem Schmierstoff im Dichtkontakt. Dies kann zu hoher Reibung, Verschleiß und hohen Temperaturen führen. Dichtungsmaterialien mit geringer maximaler Einsatztemperatur sind nur für kurzzeitigen Betrieb geeignet bzw. führen zu kurzen Lebenszeiten. Zusätzlich können die in Umfangsrichtung wirkenden Reibkräfte eine Rotation des Dichtelements im Gehäuse verursachen. Dies führt zu unberechenbaren Betriebszuständen und ernsthaften Schäden an Dichtelement und O-Ring.

Um diese anspruchsvollen Bedingungen zu meistern wurde eine einfachwirkende, O-Ring-vorgespannte Rotationsdichtung für Rotations-, Schwenk- und Schraubenbewegungen und optimiert.

Dieser Beitrag beschreibt die Versuchsergebnisse mehrerer Tests bei unterschiedlichen Betriebsdrücken und Umfangsgeschwindigkeiten. Druck und Geschwindigkeit waren während der Tests konstant. Es wurden drei PTFE-Werkstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften getestet: PTFE mit Graphitfasern, PTFE mit Mineralfasern, PTFE mit Polyaramid.

Die Ergebnisse zeigen übergreifend zuverlässige, stabile und vergleichbare Betriebseigenschaften der Dichtungen bei allen betrachteten Bedingungen. Die drei Materialien zeigen in einigen Punkten vergleichbares Verhalten, in anderen Punkten jedoch interessante Unterschiede, die im Beitrag aufgezeigt und interpretiert werden.

## A 2

**Dr. Michael Schlipf**, Dyneon GmbH, Burgkirchen, Germany,  
 Robert Veenendaal, APD PTFE Compounds Europe, Kerkrade, The Netherlands,  
 Dipl.-Ing. Jan Gölz, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart, Germany

### The New 3M Dyneon PTFE Compound Generation



In shaft seals PTFE compounds are well-established materials due to their excellent properties, such as low coefficient of friction, resistance to oils and oil additives, low wear caused by fillers or high service temperatures. However to achieve the right balance between these different benefits is an ongoing challenge as improving one property may require sacrificing another one: reduced wear properties of the seal mainly has to be compromised with enhanced abrasion of the mating surface or loss of barrier properties, resulting in higher leakage rates. The innovative filler combination of the new Dyneon PTFE compound generation gives a lot of benefits. This enables further optimization of the sealing lip design. The impact of these innovative fillers in combination with improved seal lip design on the performance of the shaft seal function will be demonstrated by shaft seal experiments. Additionally to filler combination and seal lip design, the replacement of the standard PTFE matrix by modified PTFE of the new generation in these compounds may help to even further improve PTFE compound lip seals under technical as well as economical aspects.

### Die neue 3M Dyneon PTFE Compound Generation

In Wellendichtungen sind PTFE-Compounds aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften, wie geringen Reibwerten, guter Chemikalienverträglichkeit, geringem Verschleiß aufgrund von Füllstoffen und hoher Temperaturbeständigkeit etabliert. Die richtige Balance zwischen diesen Eigenschaften ist jedoch eine ständige Herausforderung, da die Verbesserung einer Eigenschaft auf Kosten einer anderen gehen kann: Bei einer Verschleißreduzierung des Dichtelements ist eine stärkere Abrasion der Gegenlauffläche oder eine, aufgrund verschlechterter Barriereigenschaften, erhöhte Leckage in Kauf zu nehmen. Die innovative Füllstoffkombination der neuen Dyneon PTFE-Compoundgeneration bringt eine Reihe von Vorteilen. Dies ermöglicht weitere Optimierungen der Geometrie. Die Auswirkung dieser innovativen Füllstoffe und der verbesserten Dichtungsgestaltung wird mittels Versuchsläufen an Wellendichtungen aufgezeigt. Zusätzlich zu Füllstoffkombination und Dichtungsgeometrie ist eine weitere Optimierung technischer und ökonomischer Gesichtspunkte durch den Ersatz der Standard-PTFE-Matrix durch modifiziertes PTFE der neuen Generation möglich.

## A 3

**Dipl.-Ing. Jan Gölz**, Dr.-Ing. Frank Bauer, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart, Germany

### Bidirectional PTFE Lip Seals - Superior to Elastomeric Seals?



High temperatures, high shaft speeds, dry run and aggressive fluids can destroy elastomeric radial lip seals. Seals made of polytetrafluoroethylene (PTFE) compounds can cope with such demanding conditions. PTFE can be used at temperatures up to 200 °C, with nearly every fluid and in dry running condition. However, as PTFE lip seals do not automatically pump back fluid, bidirectional PTFE lip seals are necessary for universal application.

Research at the Institute of Machine Components of the University of Stuttgart lead to leak-tight bidirectional PTFE lip seals. The developed design contains two closed rings with sealing aids in between.

The seals are leak-tight up to 5000 rpm (20.9 m/s) at an oil temperature of 120 °C. Additionally, they are leak-tight during start-stop operation, frequent changes of rotational direction and can cope with shaft eccentricities of at least 0.2 mm.

### Sind bidirektionale PTFE-Manschetten Elastomerdichtungen überlegen?

Hohe Temperaturen, hohe Drehzahlen, Trockenlauf und aggressive Fluide können zum Ausfall von Elastomer-Wellendichtungen führen. Dichtungen aus Polytetrafluoroethylen-Compounds (PTFE) kommen mit solchen extremen Anforderungen zurecht. PTFE kann bei einer Temperatur von 200 °C mit nahezu jedem Fluid sowie bei Trockenlauf eingesetzt werden. Da PTFE-Manschetten-dichtungen nicht von selbst Fluid fördern sind bidirektional rückfordernde Strukturen für einen universellen Einsatz erforderlich.

Forschungsarbeiten am Institut für Maschinenelemente der Universität Stuttgart ermöglichen in beide Drehrichtungen dichte PTFE-Manschetten-dichtungen. Die entwickelte Gestaltung beinhaltet zwei geschlossene Ringe mit dazwischenliegenden Rückförderstrukturen.

Die Dichtungen arbeiten bei bis zu 5000 1/min (20,9 m/s) und einer Öltemperatur von 120 °C ohne auftretende Le-

Just two years ago, it was not possible at all, to seal leak-tight with PTFE lip seals in both rotational directions. The work presented is a step further towards the goal of reliable-working bidirectional PTFE lip seals.

ckage. Darüber hinaus sind sie im Start-Stopp-Betrieb, bei häufigen Drehzahlwechseln und bei Wellenexzentrizitäten von mehr als 0,2 mm dicht.

Noch vor zwei Jahren war es nicht möglich mit PTFE-Manschettendichtungen in beide Drehrichtungen leckagefrei abzudichten. Die durchgeführte Arbeit ist ein weiterer Schritt hin zu zuverlässigen bidirektionalen PTFE-Manschettendichtungen.

## A – Session 3: Rotary Shaft Seals

## A – Session 3: Wellendichtungen

### A 4

**Dipl.-Ing. Arthur Petuchow**, Dr.-Ing. Volkert Wollesen, Prof. Dr.-Ing. Otto von Estorff, Institut für Modellierung und Berechnung (IMB), Technische Universität Hamburg-Harburg, Germany

#### **Load-Dependent Irreversible Friction Coefficient Change of an Oil-Elastomer-Combination Represented by a Master Curve**

#### ***Belastungsabhängige irreversible Reibwertänderung einer Öl-Elastomer-Paarung, dargestellt durch eine Masterkurve***



Experiments under both constant and varying operating conditions were carried out for a general understanding of the change in the friction coefficient in dependence of the circumferential speed, the sump temperature, the line load and the run-time. The influence of the operating conditions on the change of the friction coefficient was determined. Furthermore constant extended time tests were carried out for several combinations of temperature and speed to determine the change in the friction coefficient over time.

Für das grundsätzliche Verständnis der Reibwertänderung in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit, der Ölsumpftemperatur, der Linienlast und der Laufzeit sind Versuche sowohl unter konstanten als auch unter variierenden Betriebsbedingungen durchgeführt worden. Hierbei wurden die Einflüsse der Betriebsparameter auf die Reibwertänderung untersucht. Des Weiteren wurden für einzelne Temperatur-Geschwindigkeits-Kombinationen konstante Langzeitversuche durchgeführt. Dabei wurde das Zeitverhalten der Reibwertänderung untersucht.

### A 5

**Dipl.-Ing. Max Sommer**, Dr.-Ing. Frank Bauer, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart, Germany

#### **Mechanisms in the Sealing Contact of Grease Lubricated Radial-Lip Seals**

#### ***Mechanismen im Dichtspalt fettabdichtender Radial-Wellendichtungen***



Radial-lip seals are designed for the sealing of oil, but often used to seal grease instead. But the behavior of grease is not comparable with the behavior of oil. The reason is the complex composition of grease, containing of a fluid (base oil) and a solid (thickener). The mechanisms in the grease lubricated sealing gap are not known. Therefor an optimized design of this seals is not achievable. Tests on the operational behavior using radial lip seals and a simplified model are presented in this paper. Friction, wear, pumping rate and the supply with lubricant were examined. Besides these tests, measurements on the grease properties were done. A comparison of both, the tribological tests and the grease properties, shows a connection between them. The results are showing that the base oil and the thickener as well are lubricating the

Radial-Wellendichtungen sind zur Abdichtung von Schmierölen entwickelte und optimierte Dichtsysteme. Diese Dichtsysteme werden allerdings häufig zur Fettabdichtung eingesetzt. Das Verhalten von Schmierfetten ist jedoch nicht mit dem von Schmierölen vergleichbar. Stark reduzierte Einsatzgrenzen, erhöhter Verschleiß und Leckage sind die Folgen. Die Mechanismen im fettgeschmierten Dichtkontakt sind nicht bekannt. Eine funktionsgerechte Auslegung ist daher nicht möglich. Es wurden Versuche an Radial-Wellendichtungen und einem vereinfachten Ersatzmodell zum Schmierfetteinfluss durchgeführt. Hierbei wurden Reibung, Verschleiß, Schmierstoffversorgung und Förderwirkung betrachtet. Parallel zu den genannten Untersuchungen wurden die verwendeten Schmierfette in Bezug auf die

sealing gap. With the results, a functional model of grease lubricated lip-seals could be established which first time describes the mechanisms in the grease lubricated sealing gap.

mikroskopische Beschaffenheit ihrer Verdickerstruktur und ihre rheologischen Eigenschaften charakterisiert. Eine Gegenüberstellung der ermittelten Schmierfetteigenschaften mit dem Betriebsverhalten von Radial-Wellendichtungen bzw. des Ersatzmodells zeigt klare Zusammenhänge. Aufbauend auf den ermittelten Zusammenhängen wurde ein Funktionsmodell erstellt, das die Mechanismen im Dichtspalt fettabdichtender Radial-Wellendichtungen beschreibt.

## A 6

**Dr.-Ing. Mandy Wilke**, Holger Jordan, Dipl.-Ing. Martin Franz, Trelleborg Sealing Solutions, Stuttgart

### Sealing of Media on Rotating Shafts with Pressure Load

### *Zur Abdichtung von Medien bei rotierenden Wellen mit Druckbelastung*



Energy saving in all aspects of technology becomes more and more important. A main aspect is the friction of the seal, which can influence the efficiency and lifetime of a complete machine significantly. In sealing of media on rotating shafts, radial oil seals are state of the art. Depending on the design of the radial oil seal it is possible to seal pressure loads up to 1 MPa. A wide range of pressure load and velocity is difficult to cope with in general, because the induced power in the shaft is often the limiting factor for a specific lifetime. To improve the performance of a shaft seal in terms of friction, wear and as a result service time, a new sealing concept was developed, which allows a wide range of pressure and velocity.

Energieeinsparungen gewinnen in allen Bereichen der Technik bekanntermaßen an Bedeutung. Ein wichtiger Aspekt, der zunehmend bedeutender wird, ist die Dichtungsreibung. Diese beeinflusst den Gesamtwirkungsgrad sowie die Standzeit von Maschinen nennenswert. Bei der Abdichtung von rotierenden Wellen werden üblicherweise Radialwellendichtringe eingesetzt. Abhängig von der Gestaltung des Radialwellendichtrings können auch Drücke bis 10 MPa abgedichtet werden. Die Auslegung der Dichtringe wird in der Regel dem Belastungszustand angepasst.

Weite Spreizungen von Druck und Geschwindigkeit sind grundsätzlich schwierig zu beherrschen, da die in die abzudichtende Welle durch Reibleistung eingeleitete Energie oft den limitierenden Faktor für eine lange Lebensdauer darstellt. Um die Leistungsfähigkeit einer Wellenabdichtung im Hinblick auf Reibleistung, Verschleiß und damit Lebensdauer nachhaltig zu verbessern wurde ein neues Dichtkonzept entwickelt, welches weite Spreizungen an Druck und Geschwindigkeit ermöglicht.

## A 7

**Dipl.-Ing. Christian Kaiser**, Dipl.-Ing. Barbara Jennewein, Prof. Dr.-Ing. Bernd Sauer, Lehrstuhl für Maschinenelemente und Getriebetechnik (MEGT), Kaiserslautern, Germany

### Wear of Rotary Shaft Seals under Static and Dynamic Shaft Eccentricities

### *Verschleiß von Radialwellendichtringen unter statischen und dynamischen Wellenexzentrizitäten*



Radial lip seals made of elastomer are used to prevent lubricant leakage along a rotating shaft. The reliability of these machine elements is influenced by chemical, thermal as well as mechanical loads and gradual wear. In practice mechanical loads always occur due to the operation conditions in the machine to seal and manufacturing tolerances, which might cause an out-of-roundness of the shaft, an eccentricity of the shaft or of the housing or even shaft vibrations.

This paper presents experimental results of the lip seals wear under static and dynamic loads with va-

Radialwellendichtringe (RWDR) sind dynamische Dichtungen und werden zur Abdichtung rotierender Wellen und Achsen gegen verschiedene Medien eingesetzt. Im Betrieb sollte der RWDR idealerweise reibungsarm sein, wenig verschleißend und gleichzeitig keine Leckage zulassen. Beim Erreichen dieser Ziele kommt erschwerend hinzu, dass der RWDR in der Anwendung den unterschiedlichsten Betriebsbedingungen z.B. erhöhten Temperaturen und aggressiven Medien ausgesetzt wird. Außerdem treten zusätzlich mechanische Belastungen infolge von statischen Wel-

rying frequency and amplitude in radial and axial direction.

lenexzentritäten durch Fertigungs- und Montagetoleranzen, sowie dynamische Wellenschwingungen auf. Dieser Beitrag beschreibt, wie sich statische und dynamische Wellenauslenkungen auf das Verschleißverhalten von RWDR auswirken. Die experimentellen Untersuchungen wurden bei verschiedenen statischen Wellenversätzen in radialer Richtung, sowie Wellenschwingungsfrequenzen und -amplituden in radialer und axialer Richtung am MEGT durchgeführt.

---

## A – Session 4: Application in Practice

## A – Session 4: Anwendungsthemen

### A 8

**Prof. Dr.-Ing. habil. Herbert Baaser**, Freudenberg New Technologies - Corporate R&D, Weinheim, Germany,  
Loubna Barghout, Freudenberg Sealing Technologies, Görwihl, Germany

#### **Gap Extrusion of O-rings: Comparison of Design Guidelines and Detailed Simulations**

#### ***Spaltextrusion von O-Ringen: Vergleich von Auslegungsrichtlinien mit detaillierten Simulationen***



**EN**

As a rule, for the preliminary design of a sealing system which, in this case, consists of an O-ring as a rod seal and housing, designs are created which can be considered as a compromise from the imposed customer requirements. Such customer requirements can relate to the installation space, the system pressure, the media to be sealed and general technical restrictions. The usage conditions, i.e. the fluid, and the chemical and mechanical load factors are chiefly decisive for selection of the seal material and its composition and hardness. For such developments, the relevant standards, access to books of tables and ultimately the developer's experience, for example, are of key significance. Using an example, this article demonstrates how tools known from FE simulation techniques can be checked in preliminary design and, where applicable, improved even more.

In conclusion, it can be stated that, on the one hand, computer-aided models can be used to reproduce such design specifications from empirical values and complex test campaigns; on the other hand, a deeper understanding of the established correlations can be obtained. This understanding can thus be specifically used to optimise existing designs, particularly in terms of material usage.

In der Regel kann der Entwurf eines Dichtsystems, in diesem Fall bestehend aus einem O-Ring als Stangendichtung und dem Gehäuse, als ein Kompromiss zwischen den vom Kunden verlangten Anforderungen angesehen werden. Diese Anforderungen können Bauraum, Systemdruck, abzudichtendes Medium und allgemeine technische Einschränkungen sein. Die Einsatzbedingungen, z.B. das Fluid und chemische und mechanische Belastungen, sind bei der Wahl von Dichtungsmaterial sowie dessen Härte und Zusammensetzung maßgebend. Für solche Entwicklungen sind die relevanten Normen, der Zugang zu entsprechenden Daten und letztendlich die Erfahrung des Entwicklers von zentraler Bedeutung. Dieser Beitrag zeigt anhand eines Beispiels, wie aus der FE-Simulation bekannte Werkzeuge in die Vorauslegung eingebunden und, soweit möglich, sogar verbessert werden können. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass computergestützte Modelle einerseits genutzt werden können um solche Auslegungskriterien von empirischen Werten und komplexen Versuchsreihen abzuleiten und andererseits ein tiefergehendes Verständnis bekannter Zusammenhänge ermöglichen. Dieses Verständnis kann genutzt werden um bestehende Designs, insbesondere mit Blick auf Materialeinsparung, zu optimieren.

---



## A 9

**Ass. Prof. Dr.-Ing. Alexandr Vinogradov**, Department of Aircraft Engine Construction and Design, Samara State Aerospace University, Russia

### Modelling of Bearing Chamber Seals in the Air Secondary System of Aeroengine Turbines



EN

This paper presents the research of turbine support seal in aviation engines. This research considers the mutual influence of leakage through seal on the parameters of internal air system and engine oil system. A method of seal leakage calculation was developed. It connects calculation of the engine parameters, air flows hydraulics calculation, structural analysis of the details deformation and gas dynamical account of flows in the support air cavities. The basic schemes of air support cooling of the turbine for the aviation engine have been analyzed. The most attractive way of air turbine support cooling is application of the scheme with a buffer cavity. The main sources of heat transferred to the supporting element were determined, their numerical values and percent ratios for the compressor and turbine were also determined. Gasdynamical model of cooling and structural models for the turbine support have been created. The influence of such labyrinth seal parameters as radius of position and sealing gap size has been analyzed on quantity of heat which is entering in an oil cavity and on leakage through the other seals of the air cooling system. Results of research allow to define requirements to the seal sizes and to tolerance on them. It has been shown that values of these geometrical magnitudes should have the very rigid restrictions. The main conclusion of this research consists in the necessity demonstration of all sealing system designing for an air cooling of an aircraft engine turbine support.

### Modellierung von Lagerkammerdichtungen im Sekundärluftsystem von Flugzeuggasturbinen

Dieser Beitrag gibt einen Einblick in die Forschung an Gasabdichtungen in Flugtriebwerken. Diese Forschung befasst sich mit dem Einfluss von Leckage auf innere Luftströme und Ölvorsorgung. Hierzu wurde eine Methode zur Leckageberechnung entwickelt. Diese verbindet Triebwerksparameter mit Strömungsberechnung, Strukturdeformation und Gasdynamik. Die grundlegenden Vorgänge bei der Luftkühlung der Turbine wurden analysiert. Die bestgeeignete Lösung zur Luftkühlung der Turbine ist eine Anwendung mit Zwischenspeicher. Es konnten die Hauptquellen für den Wärmeeintrag deren Betrag sowie deren Verhältnis von Kompressor und Turbine ermittelt werden. Es wurde ein gasdynamisches Modell zur Kühlung und ein Strukturmodell der Dichtung erstellt. Der Einfluss von Labyrinthparametern wie Abdichtdurchmesser und Spalthöhe wurden im Hinblick auf die durchtretende Wärmemenge und die Leckage durch weitere Dichtungen des Kühlsystems untersucht. Die Forschungsergebnisse ermöglichen es, die Anforderungen an die Dichtungen und deren Toleranzen zu spezifizieren. Es wurde gezeigt, dass die geometrischen Abmessungen der Dichtsysteme in engen Grenzen liegen sollten. Die Hauptschlussfolgerung dieser Arbeit umfasst die Gestaltung aller Dichtungen für ein Luftkühlsystem eines Flugtriebwerks.

## A 10

**Dr. Shanghua Li**, M.Sc. Jiangwei Huang, ABB – Corporate Research, Västerås, Sweden

### Methodology Study of Sealing Technology for Robotic Application



EN

Nowadays the radial shaft lip seals can be found in many industries such as automobiles, aero-planes, and marines, etc. Radial shaft lip seals are typically designed in the applications where the shaft usually works in continuous rotary motions. With such conditions lip seals could normally function well due to a pumping sealing mechanism. Radial shaft lip seals are also widely used in the robots to prevent leakage of grease or lubricant oils. However, in the robotic applications, the shaft typically rotates in bi-directional and intermittent motions which is quite different from a normal application of the lip seals where shaft only

### Experimentelle Untersuchungen von Dichtsystemen für Robotik-Anwendungen

Radial-Wellendichtungen können heutzutage in einer Vielzahl von Anwendungen gefunden werden, z.B. in Automobilen, Flugzeugen, Schiffen, etc. Radial-Wellendichtungen werden üblicherweise in Anwendungen mit kontinuierlich rotierender Welle eingesetzt. Bei solchen Betriebsbedingungen arbeiten Radial-Wellendichtungen aufgrund der Rückförderwirkung meist zuverlässig. Radial-Wellendichtungen werden häufig auch in Robotikanwendungen eingesetzt um Leckage von Schmierfetten oder -ölen zu unterbinden. Allerdings liegt in diesen Anwendungen typischerweise eine bidirektionale und periodische Bewegung vor.

rotates at one-directional with constant speed. Under robotic motions, the lip seal may not perform ideally because the whole pumping sealing mechanism is disturbed. This unfortunately is probably the main reason that today most of industrial robots have a problem of the leakage of lubricant oils or grease. Since today, robots are used more and more in different industrials rather than just automotive industry, such as food, beverage, clean room and packaging industry where the tolerance for leakage is even less, it becomes more important to study sealing technology for robotic applications. This paper discusses methodology on study of sealing technology for general robotic applications, which mainly includes design, construction and validation of a special test rig that can test the sealing systems under robotic conditions.

Dies unterscheidet sich maßgeblich von der für normale Anwendungen typischen unidirektionalen und kontinuierlichen Drehbewegung mit konstanter Geschwindigkeit. Bei für die Robotik typischen Bewegungen arbeitet die Dichtung unter Umständen nicht wie gewünscht, da der Rückfördermechanismus gestört wird. Dies ist möglicherweise der Grund weshalb heute die meisten der industriell eingesetzten Roboter Probleme mit der Leckage von Schmierfetten und -ölen haben. Roboter werden nichtmehr nur hauptsächlich in der Automobilindustrie sondern vermehrt in weiteren Industriezweigen wie Lebensmittel, Getränke, Verpackung und in Reinraumanwendungen eingesetzt. Da hier die Leckagetoleranz noch unterhalb der in der Automobilindustrie liegt, wird es zusehends bedeutend Dichtungstechnik gezielt für Robotikanwendungen zu erforschen. Dieser Beitrag diskutiert die Methodik bei der generellen Erforschung von Dichtungstechnik für die Robotik. Hierbei wird hauptsächlich auf Konstruktion, Bau und Validierung eines Spezialprüfstandes eingegangen, mit welchem Dichtsysteme unter für die Robotik relevanten Bedingungen getestet werden können.

## A 11

**B.Sc. Eng. Charles Anthony Bates**, Danfoss Power Solutions ApS, Nordborg, Denmark

### **A Method of Comparing Recurring Observations of Leakage in Rotary Shaft Seals Under Accelerated Tests**

### ***Eine Methode zum Vergleich wiederkehrender Beobachtungen von Leckagen in Wellendichtungen unter beschleunigten Tests***



Accelerated testing of rotary shaft seals is challenging existing notions of zero-leakage evaluations of time-to-failure and rotary shaft seal comparisons. This is due to the fact that, when conducting accelerated tests of orbital motors; observations of leakage between the seal and shaft do not always imply defects in the rotary shaft seal itself. Several influences, such as spontaneously applied loads or particles between sealing-lip and shaft, can cause - individually or in combination - a temporary break in the viscous sealing membrane between an otherwise, perfectly functioning sealing-lip and output-shaft, resulting in, seemingly, arbitrary leakage occurrences.

Considering these arbitrary occurrences of leakage, one can conclude that a rotary shaft seal's ability to eject particles which are trapped between the output-shaft and rotary shaft seal or to quickly re-stabilize the sealing membrane between the output-shaft and sealing-lip are among the most desirable characteristics a rotary shaft seal can possess and that furthermore, these characteristics are counterintuitive to the information which can be obtained from zero-leakage evaluations of time-to-failure experiments.

This paper will explore a possible method of comparing and evaluating recurring observations of leakage in rotary shaft seals, as an integrated part of a hydraulic system, under accelerated tests.

Beschleunigte Testläufe mit Wellendichtungen sind eine Herausforderung bezüglich Null-Leckagebewertung, Ausfallzeitpunkt und Vergleichbarkeit verschiedener Dichtungen. Dies rührt daher, dass detektierte Leckage beim Test von Orbitalmotoren nicht immer mit der Schädigung der Dichtung einhergeht. Diverse Einflüsse, wie spontan auftretende Radialkräfte oder Partikel im Dichtspalt können - für sich oder gemeinsam - bei einer ansonsten perfekt arbeitenden Dichtung zu einem zeitlich begrenzten, scheinbar willkürlichen Auftreten von Leckage führen. Dieses willkürliche Auftreten von Leckage berücksichtigend, kann zusammengefasst werden, dass die Fähigkeit einer Wellendichtung im Dichtspalt befindliche Partikel heraus zu fördern sowie die Wiederherstellung der Dichtwirkung zu den wünschenswertesten Eigenschaften einer Wellendichtung gehören. Diese Eigenschaften erscheinen widersinnig zu den Ergebnissen, die aus Null-Leckagebewertungen und Lebensdauertest gewonnen werden. Dieser Beitrag befasst sich mit einer möglichen Methode zum Vergleich und zur Bewertung wiederkehrender Leckage von Wellendichtungen in Hydrauliksystemen bei beschleunigten Testläufen.



**A – Session 5: Rotary Shaft Seals****A – Session 5: Wellendichtungen****A 12**

**Dipl.-Ing. Simon Feldmeth**, Dr.-Ing. Frank Bauer, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart, Germany

**Simulation of the Fluid Flow in the Sealing Gap of Radial Lip Seal**

**Simulation der Strömungsvorgänge im Dichtspalt von Radial-Wellendichtungen**



The used multi scale model consists of two models on different scales which are coupled. The macro model covers the whole sealing system as well as its environment and simulates the heat dissipation by means of a conjugate heat transfer simulation. The micro model solely covers the sealing gap and simulates the heat generation by means of a thermo-elasto-hydrodynamic simulation. The governing equations of the micro model are: Reynolds equation (fluid flow in the sealing gap), elasticity equation ( deformation and film thickness), Ubbelohde Walther equation (viscosity temperature relation of the fluid) and the force balance equation (equilibrium of forces in radial direction). Nondimensionalizing these equations, dimensionless numbers can be derived which characterize the behavior of the sealing system. The dimensionless equations are used in the micro model which is based on a multi grid approach and delivers first results. In the further work the micro model will be expanded to carry out parameter studies analyzing the influence of these parameters.

Das verwendete Multiskalen-Simulationsmodell besteht aus zwei Teilmodellen, die unterschiedliche Größenskalen abdecken: Das Makro-Modell umfasst das gesamte Dichtsystem inklusive Dichtungsumfeld und simuliert die Wärmeabfuhr mittels einer gekoppelten Wärme- und Strömungssimulation (CHT-Simulation). Das Mikro-Modell umfasst lediglich den Dichtspalt und simuliert dort die Wärmeentstehung mittels thermo-elasto-hydrodynamischer Simulation (TEHD-Simulation). Dem Mikro-Modell liegen folgende Gleichungen zu Grunde: Reynolds-Gleichung (Strömungsvorgänge im Dichtspalt), Spalthöhen-Gleichung (Verformung der Dichtlippe), Ubbelohde-Walther-Gleichung (Viskositäts-Temperatur-Verhalten) und Kräfte-Bilanz (Kräfte-Gleichgewicht in radialer Richtung). Durch Dimensionslosmachung dieser Gleichungen können dimensionslose Kenngrößen abgeleitet werden, die das Verhalten des Dichtsystems charakterisieren. Das Mikro-Modell basiert auf dem Mehrgitter-Verfahren und liefert bereits erste Ergebnisse. In weiteren Arbeiten wird das Mikro-Modell ausgebaut und für Parameterstudien genutzt, um alle relevanten Einflussfaktoren auf die Strömungsvorgänge im Dichtspalt zu quantifizieren.

**A 13**

**M.Sc. Tobias Corneli**, Prof. Dr.-Ing. Peter Pelz, Dr.-Ing. Gerhard Ludwig, Institut für Fluidsystemtechnik (FST), Technische Universität Darmstadt, Germany

**Slip Length in Narrow Sealing Gaps – an Experimental Approach**

**Ein neuer Ansatz zur Messung der Gleitlänge im engen Dichtspalt**



For narrow sealing gaps (smaller than 1  $\mu\text{m}$ ) it is expected that the no-slip boundary condition does not yield anymore. As a consequence the friction is reduced and the leakage is increased compared to the no-slip design case. Though the concept of slip length was introduced by Navier and Maxwell already in the 19th century, it is up to now costly to measure the slip length. This is due to the required measurement precision. Today the slip length is measured in laboratories for glass, silicium or sapphire wafers while using fluorescence methods to determine the flow velocity and is thus far from sealing applications. The present contribution introduces a new method to measure the slip length for typical materials that are used in sealing technologies. A key advantage of the presented method is that the slip length can be

Für die Lösung strömungsmechanischer Probleme werden in der Regel Haften oder idealer Schlupf (Potentialtheorie) als Wand-Randbedingungen verwendet. Bei sehr engen Spalten (kleiner 1  $\mu\text{m}$ ), wie sie typischer Weise in Dichtsystemen vorliegen, tritt ein bedingter Schlupf an der Wand auf. Dieser wird für die Größe der Gleitlänge quantifiziert und geht auf Navier und Maxwell im 19. Jahrhundert zurück. Bis zum heutigen Zeitpunkt wird die Gleitlänge lediglich für Gleitpartner aus Glas und Silizium gemessen. Hierfür gibt es zwei Gründe: Zum einen kommen Messmethoden zum Einsatz, die eine optische Zugänglichkeit erfordern. Zum anderen sind sehr gute Oberflächenqualitäten für die Einstellung von engen Spalten erforderlich. Diese Oberflächenqualitäten sind für Glas

evaluated by measuring the physical quantities torque and gap width. We present the design of the apparatus as well as the used measurement equipment.

und Silizium als Standardspezifikation verfügbar. Die bisher eingesetzten Messmethoden sind aufgrund der aufwendigen optischen Messtechnik und der verwendeten Gleitpartner noch sehr weit von der technischen Dichtungsanwendung entfernt. In diesem Beitrag wird eine neue Messapparatur zur Bestimmung der Gleitlänge für typische Werkstoffe der Dichtungstechnik vorgestellt, die die Gleitlänge aus den Messgrößen Drehmoment und Spaltgröße (Abstand) bestimmt.

#### A 14

**Dipl.-Ing. Florian Bosch**, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), der Universität Stuttgart, Germany

##### **Unerring Non-Contacting Sealing of Grease-Lubricated Systems Considering the Distribution of the Grease Inside the System**

##### ***Zielsichere berührungsfreie Abdichtung fettgeschmierter Systeme unter Berücksichtigung der Fettverteilung***



Unerring non-contacting sealing of grease-lubricated systems considering the distribution of the grease inside the system.

Zielsichere berührungsfreie Abdichtung fettgeschmierter Systeme unter Berücksichtigung der Fettverteilung.

Although lubricating grease or dirt can be sealed with grease-filled non-contacting sealing systems without any friction losses, there is almost no literature to develop them. In addition to the results of a completed research project at the Institute for Machine Components now rules for the positioning of the sealing systems in their environment are missing. To investigate this question, an overall system was developed. It consists of one deep groove rolling bearing which is sealed with non-contacting sealing systems on both sides. The results show that the amount of grease which gets into the sealing system is primarily influenced by the diameter of the gap entrance on the side of the bearing and the direction of the sealing system

Obwohl Schmierfett bzw. Schmutz mit fettgefüllten berührungsfreien Dichtsystemen ohne Reibungsverluste abgedichtet werden können, gibt es für deren Entwicklung nahezu keine Literatur. Ergänzend zu den Ergebnissen eines am Institut für Maschinenelemente abgeschlossenen Forschungsprojekts fehlen Gestaltungsregeln zur Positionierung der Dichtsysteme in ihrem Umfeld. Zur Untersuchung dieser Fragestellung wurde ein Gesamtsystem entwickelt, das aus einem beidseitig berührungsfrei abgedichteten Lager besteht. Die Ergebnisse zeigen, dass in erster Linie der Durchmesser des lagerseitigen Spalteingangs und die Ausrichtung des Dichtsystems Einfluss auf die in das Dichtsystem gelangende Fettmenge nehmen.

#### A 15

**Dr.-Ing. Peter Schuler**, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart, Germany

##### **Influence of Temperature Gradients on the Sealing Mechanism of Rotary Shaft Lip Seals**

##### ***Einfluss von Temperaturgradienten auf Wellendichtungen***



At rotary shaft seals there can occur two types of temperature gradients: First, in axial direction. Frictional heat from the contact area is conducted to the boundary by the shaft. The resulting temperature gradients can reach up to several 10.000 Kelvin per meter. Second, in radial direction. In machines or transmissions frictional heat is mostly dissipated by their housing. This means, there exists a radial

Bei berührenden Radial-Wellendichtungen treten zwei Arten von Temperaturgradienten auf: Erstens, in radialer Richtung. Unterscheiden sich die Temperaturen von Welle und Gehäuse, herrscht im Schmierstoff dazwischen ein radialer Temperaturgradient. Zweitens, in axialer Richtung. Reibungsinduzierte Wärme im Dichtkontakt fließt vorrangig über die Welle ab. Vom heißen Dichtkontakt zur kühleren Umgebung herrscht in der Welle ein axialer Temperaturgradient. An der Wellen-

temperature gradient from the shaft to the housing. In both cases the temperature gradients cause a - commonly undesired - motion of lubricant away from the sealing zone. The origins of this motion are two mechanisms: A steep, axial temperature gradient induces a surface tension gradient in the lubricant. The resulting force leads to a motion („migration“) of the lubricant from the hot sealing zone to its cooler surroundings. The seal lacks essential lubricant to be properly lubricated. Starved lubrication and therefore considerably higher wear is the consequence. A radial temperature gradient from the shaft, across the lubricant, to the housing amplifies a secondary flow, known as Taylor-Görtler vortices. Next to the sealing edge those vortices have a velocity component directing fluid from the sealing edge towards the oil sump. It follows, that in this case starved lubrication can occur as well.

-oberfläche überträgt sich dieser Temperaturgradient auf den Schmierstoff.

Beide Temperaturgradienten beeinflussen die Dichtfunktion der Radial-Wellendichtung.

Da in beiden Fällen Schmierstoff aus der Dichtzone weg bewegt wird, muss von einem schädlichen Einfluss der Effekte ausgegangen werden.

---

### **A – Session 6: Energy Conservation / Friction / Wear**

### **A – Session 6: Energieeinsparung / Reibung / Verschleiß**

#### **A 16**

**M. Sc. Sören Neuberger**, Dr.-Ing. Eberhard Bock, Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG, Weinheim, Germany  
 Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart, Germany  
 Dr. rer. nat. Klaus Lang, EagleBurgmann Germany GmbH & Co. KG, Wolfratshausen, Germany

#### **Potential CO<sub>2</sub>-Savings Achieved by Using Gas Lubricated Face Seals in Internal Combustion Engines**

#### **CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale durch Einsatz von gasgeschmierten Gleitringdichtungen in Verbrennungsmotoren**



The reduction of fuel consumption and CO<sub>2</sub>-emission is a goal in developing modern automobiles. Some grams of CO<sub>2</sub> are emitted due to dynamic seals in the powertrain. One example are the shaft seals in the combustion engine. A large part of this emissions can be avoided by means of the innovative approach of using gas lubricated face seals. The relatively to each other moving surfaces of the seals are separated by introduced air and are then sliding on an air film. This reduces the friction drastically. This papers shows the potential in power saving, illustrates the concept of the air lubricated face seal and informs about the state of development with regard to simulation of the operational behavior and test results. This results are discussed as a conclusion and an outlook will be given about the application of this technology in the powertrain.

In der Entwicklung moderner Automobile liegt ein Schwerpunkt auf der Senkung des Kraftstoffverbrauchs und damit der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Der Ausstoß einiger Gramm CO<sub>2</sub>/km geht zulasten der dynamischen Dichtungen im Antriebsstrang. Ein Beispiel sind die Simmerringe im Verbrennungsmotor. Durch den innovativen Ansatz von gasgeschmierten Gleitringdichtungen im Motor lässt sich ein großer Teil dieser Emissionen vermeiden. Bei dieser Dichtungsart schwimmen die relativ zueinander bewegten Dichtungsteile durch das Einschleppen von Luft in den Dichtspalt auf und gleiten auf einem Luftfilm. Dies reduziert die Reibung drastisch.

Dieser Beitrag zeigt die Einsparpotenziale auf, erläutert das Konzept der gasgeschmierten Gleitringdichtung und informiert über den Stand der Entwicklung hinsichtlich der Simulation des Funktionsverhaltens und der Versuchsergebnisse.

Abschließend werden die Ergebnisse kritisch diskutiert. Ein Ausblick zum Einsatz der Technologie im Antriebsstrang rundet den Beitrag ab.

---

## A 17

**Prof. Dr.-Ing. Matthias Kröger**, Dipl.-Ing. Christian Berndt, M.Sc. Stefan Nitzsche, Henning Schneider, Institut für Maschinenelemente Konstruktion und Fertigung (IMKF), TU Bergakademie Freiberg, Germany

### Influences on the Adhesion in Sealing Interface Due to Lubricants



There is an uncountable number of seal contacts existing, yet no full understanding of it could be achieved. Especially the field of dynamic seals is a very complex one. There are ideas and models for the description of the tribological system, but no one considers all influences. A common thesis by KUMMER is to separate the friction effects in the contact into four physical reasons: hysteresis, adhesion, cohesion and fluid film friction. This paper discusses the part of adhesion and how it is influenced due to a liquid film. The shear of a fluid film in a dynamic seal contact e.g. a radial lip seal, will not be in focus.

### Beeinflussung der Adhäsion im Dichtkontakt auf Grund von Schmierstoffen

Obwohl unzählige Dichtkontakte existieren ist deren Verhalten bis heute nicht vollständig verstanden. Insbesondere der Bereich der dynamischen Dichtungen ist sehr komplex. Es gibt Ansätze und Modelle um diese tribologischen Systeme zu beschreiben, jedoch nicht unter Berücksichtigung aller Einflüsse. Eine gängige These von KUMMER ist es, die Reibung in vier physikalische Effekte aufzuteilen: Hysterese, Adhäsion, Kohäsion und Flüssigkeitsreibung. Dieser Beitrag befasst sich mit der Adhäsion und wie diese im Zusammenhang mit einem Flüssigkeitsfilm steht. Auf die Scherung eines Flüssigkeitsfilms im Kontakt einer dynamischen Dichtung, wie z. B. einer Radialwellendichtung, wird nicht näher eingegangen.

## A 18

**Dr. rer. nat. Dominik Paulkowski**, Dr.-Ing. Klaus Vissing, Stefanie Karpinski, Fraunhofer IFAM, Bremen, Germany

### Energy Saving with Plasmapolymeric Coating Applied to Rotary Shaft Sealings

Energy saving in the drivetrain is of concern to reach the decreasing CO<sub>2</sub> limits for automobiles. In other industries, as they are wind turbines, hydraulics and pneumatics, higher wear resistance and reduced friction losses are demanded as well. It could be shown that the friction torque is reduced for 35 mm FKM rotary shaft seals under lubricated and dry conditions using a plasmapolymeric coating.

Further improvements were achieved by using oils with different additives and by the variation of sliding speeds. The specimen with plasmapolymeric coating with a high wear resistance failed significantly later than a specimen without coating and demonstrated emergency run capabilities.

The tribological improvement of seals at low actual costs is available using plasma enhanced chemical vapor phase deposition (Pecvd). The coating of complex 3D geometries is achievable with this procedure.

### Energieeinsparung durch plasmapolymere Beschichtung auf Wellendichtungen



Die Energieeinsparung im Antriebsstrang ist von bedeutendem Interesse, um die laufende Reduzierung der CO<sub>2</sub> Grenzwerte in Personenkraftwagen zu erreichen. Zusätzlich werden auch in anderen Industriebereichen wie Windenergie, hydraulischen und pneumatischen Anwendungen ein verbesserter Verschleißschutz und eine reduzierte Reibung benötigt. Es konnte gezeigt werden, dass das Drehmoment im geschmierten als auch im trockenen Kontakt unter Anwendung einer plasmapolymere Beschichtung auf 35 mm FKM Radialwellendichtungen reduziert wird.

Weitere Verbesserungen konnten durch unterschiedliche Öl-Additivierung und die Variation der Geschwindigkeit erzielt werden. Die plasmapolymer beschichtete Dichtung versagte bei erhöhter Verschleißresistenz deutlich später als die unbeschichtete Probe und demonstrierte dabei Notlaufeigenschaften.

Die tribologische Verbesserung von Dichtungen ist zu geringen Gesteuerungskosten unter Verwendung der plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung (PECVD) verfügbar. Mit diesem Verfahren ist die Beschichtung komplexer 3D-Geometrien möglich.

**A 19**

**Dipl.-Ing. MBA Michael Stadler**, MS-Grässner GmbH & Co. KG, Dettenhausen, Germany

**Optimization of Shaft Seals to Reduce the Power Loss of Bevel Gear Boxes**

**Optimierung von Wellendichtringen zur Reduzierung der Verlustleistung von Kegelradgetrieben**



Considering an application in robotics, power losses and heat generation could be significantly reduced. A main component of robotic applications, in particular the bevel gear was optimized.

Based on a methodic comparison, the radial shaft lip seal was investigated further - due to economic issues.

An optimized radial shaft lip seal was used. This seal was originally developed for small shaft diameters. This seal is sealing two fluids.

The power loss of the gear could be reduced by more than 20 %. This was achieved just by the optimized sealing system.

Sustainable systems with low power losses but high availability will be strongly demanded by the industry in future. The industrial aspects can be regarded in advance with the described methods. Companies facing this challenges will persist successfully at the market if they consider both, this engineering method and the exchange with intermediate and end customers.

Unter Berücksichtigung einer Anwendung in der Robotik konnte die Verlustleistung und die Wärmeentwicklung deutlich reduziert werden. Eine wesentliche Hauptkomponente der Robotikanwendung, nämlich das Kegelradgetriebe, wurde optimiert.

Basierend auf einer methodischen Betrachtung und Gegenüberstellung von Dichtungssystemen, wurde - aus wirtschaftlichen Gründen - der Radialwellendichtring weiter untersucht. Ein optimierter Radialwellendichtring, der ursprünglich für kleine Wellendurchmesser entwickelt wurde, kam zum Einsatz. Dieser Wellendichtring dichtet zwei Fluide ab.

Eine Reduzierung der Gesamtverlustleistung des Kegelradgetriebes von über 20 % konnte alleine durch das oben beschriebene optimierte Dichtungssystem erzielt werden.

In Zukunft werden nachhaltige Systeme mit hoher Verfügbarkeit und geringer Verlustleistung, zunehmend von der Industrie gefordert. Die industriellen Gesichtspunkte können durch die beschriebene Methodik schon im Vorfeld betrachtet und näher untersucht werden. Unter Berücksichtigung dieser Engineering-Methode, als auch durch den Dialog mit dem End- und Zwischenkunden werden Unternehmen, die sich diesen Herausforderungen stellen, weiter erfolgreich am Markt bestehen.

**A – Session 7: Materials**

**A – Session 7: Werkstoffe**

**A 20**

**Dr. rer. nat. Jürgen Hieber**, Dipl.-Ing. (FH) Gonzalo Barillas, Merkel Freudenberg Fluidtechnic GmbH, Schwalmstadt, Germany

**Significant Enhancement of the Operating Conditions of Polyurethane for Hydraulic Seals**

**Signifikante Erweiterung der Einsatzbedingungen von Hydraulikstangendichtungen aus Polyurethan**



The improved performance range of the new polyurethane material 94 AU 30000 for hydraulic seals has been presented. Extended physical and chemical tests show a wider application frame compared to standard polyurethanes resulting in a better hydrolysis resistance and higher tear strength without worsen any other properties such as the good low temperature flexibility.

Es wurde der erweiterte Anwendungsbereich des neuen Polyurethanwerkstoffes 94 AU 30000 für Hydraulikdichtungen dargelegt. Erweiterte physikalische und chemische Tests zeigen einer breiteren Anwendungsbereich im Vergleich zu Standardpolyurethanen v.a. durch eine verbesserte chemische Beständigkeit und erhöhte Weirreißfestigkeit ohne Verschlechterung einer anderen

Comparative endurance tests with standard hydraulic seals show a significantly higher extrusion resistance as well as a higher performance of aged seals. The new polyurethane 94 AU 30000 material leads to hydraulic seals with enhanced temperature, extrusion, wear and hydrolysis performance for higher reliability of hydraulic cylinders.

Eigenschaft wie zum Beispiel der guten Tieftemperatur-eigenschaften.

Vergleichende Lebensdauertests mit Standard Hydraulikdichtungen zeigen eine deutlich verbesserte Extrusionsfestigkeit als auch eine verbesserte Performance mit gealterten Dichtungen. Das neue Polyurethan 94 AU 30000 ermöglicht Hydraulikdichtungen mit erweitertem Einsatzspektrum hinsichtlich Temperatur, Extrusion, Verschleiß und chemischer Beständigkeit und erhöht die damit die Zuverlässigkeit von Hydraulikzylindern.

## A 21

**Dr. Rossana Iervolino**, SKF Engineering and Research Centre, Nieuwegein, The Netherlands,

Jiaohong Zhao, Ass. Prof. Rui Yang, Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing, China

### **Relationship Between Chemical Structure and Mechanical Properties During Thermo-Oxidative Aging of NBR**



EN

The accelerated thermal oxidative aging of acrylonitrile butadiene rubber (NBR) was studied at elevated temperatures. The chemical structure characterized by Attenuated Total Reflectance - Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) and Pyrolysis Gas Chromatography - Mass Spectroscopy (PGC-MS) showed the loss of low molecular weight additives such as antioxidants and paraffin, and the formation of carbonyl groups and unsaturated double bond. The crosslinking degree characterized by NMR and swelling test showed that aging is a competitive process of crosslinking and chain scission. Crosslinking dominated the thermal aging of NBR most of the time, while chain scission began to increase after long time at high temperatures. The changes of mechanical property magnitudes during thermal aging of NBR were studied by recovery from bending test (RFB) and tensile test. By comparing the physical property results and the structural changes, their relationship has been discussed.

### **Zusammenhang zwischen chemischer Struktur und mechanischen Eigenschaften während des thermooxidativen Alterns von NBR**

Die beschleunigte thermische Oxidation von Acryl-Nitril-Kautschuk (NBR) wurde bei gehobenen Temperaturen untersucht. Die chemische Struktur wurde mittels abgeschwächter Totalreflexions-Fouriertransformations-Infrarotspektroskopie (ATR-FTIR) und Pyrolyse-Gaschromatografie / Massenspektroskopie (PGC-MS) untersucht. Es zeigte sich eine Abnahme von Additiven mit geringer Molekülmasse wie Antioxidationsmitteln und Paraffinen und eine Bildung von Carbonylgruppen und ungesättigten Doppelbindungen. Der mittels Kernspinresonanzspektroskopie (NMR-Spektroskopie) und Quelltests charakterisierte Vernetzungsgrad zeigte, dass die Alterung ein Konkurrenzprozess zwischen Vernetzung und Kettenaufspaltung darstellt. Die thermische Alterung wird die meiste Zeit von Vernetzungsprozessen dominiert, wohingegen die Kettenaufspaltung nach langen Zeitdauern und hohen Temperaturen zunimmt. Die Änderung mechanischer Eigenschaften während des thermischen Alterns von NBR wurde mittels Erholungstest (RFB) und Zugversuch ermittelt. Der Zusammenhang zwischen struktureller Änderung und physikalischen Eigenschaften wird gegenüberstellend diskutiert.



## A 22

**Dr. rer. nat. Thomas Dederichs**, Dr.-Ing. Torsten Thust, Dr. rer. nat. Andreas Bischoff, Dr. rer. nat. Thomas Früh, Dr. rer. nat. Stefan Theiler, LANXESS Deutschland GmbH, Leverkusen, Germany

### Direct Bonded Rubber Polyamide Composites for Lightweight Seals

For a lot of applications pure rubber seals are insufficient. Instead, rubber-metal seals are often used. Metal as a hard and rigid component acts as a strength carrier which bears the load and stabilizes the seal. Further, assembly efforts can be reduced with use of a rigid component. These metal rubber composites can be principally joined by different methods (e.g. mechanically by undercuts, application of adhesives or adhesion promoter, etc).

Especially in the automotive sector, metal is increasingly replaced by high-tech thermoplastics. Rubber seals with a thermoplastic component are characterized by reduced weight and corrosion stability. They are joined principally by the same methods as rubber-metal seals and are widespreadly used in the combination PA with various rubbers for different automotive sealing applications.

Besides lightweight construction, thermoplastic rubber composites have the potential that they can be joined without the polluting application of adhesion promoters, i.e. saving a whole production step. An application example of PA in combination with HNBR will be presented.

In this contribution, we further present a novel manufacturing route for seals made of sulfur cured rubber methods with a PA component by direct bonding in 2K IM. Amongst others, EPDM is applied as rubber and a reference is made to injection molding machine and mold technology, material properties and requirements and sealing applications.

### Direkthaftende Gummi-Polyamid-Verbunde für Leichtbau-Dichtungen



Reine Elastomerdichtungen sind für viele Anwendungen nicht ausreichend. Stattdessen werden häufig Elastomer-Metall-Dichtungen verwendet. Die harte und feste Metallkomponente dient als Stützkörper der die Last trägt und die Dichtung stabilisiert. Darüber hinaus kann der Montageaufwand durch das Vorhandensein einer starren Komponente reduziert werden. Diese Metall-Elastomer-Verbünde können mittels verschiedenen Verfahren erzeugt werden (z. B. durch Formschluss in Nuten, durch Klebstoffe oder Haftvermittler, etc.).

Insbesondere im Automobilbau werden metallische Werkstoffe zusehends durch High-Tech-Thermoplaste ersetzt. Elastomerdichtungen mit Thermoplastkomponenten zeichnen sich durch reduziertes Gewicht und Korrosionsbeständigkeit aus. Ihr Einsatz ist in der Kombination aus PA und diversen Elastomeren in vielen Automobilanwendungen verbreitet. Der Verbund wird prinzipiell mit denselben Verfahren wie bei Elastomer-Metall-Dichtungen erzeugt.

Neben dem Leichtbau haben Thermoplast-Elastomer-Verbünde das Potential ohne umweltgefährdende Haftvermittler hergestellt zu werden, was die Einsparung eines kompletten Produktionsschrittes bedeutet. Ein Anwendungsbeispiel einer PA-HNBR-Kombination wird vorgestellt.

In diesem Beitrag wird ein neues Vorgehen bei der Herstellung von PA-Elastomer-Dichtungen im Direkt-Bonding-Spritzgussverfahren mit schwefelvulkanisiertem Elastomer vorgestellt. Unter anderem wird EPDM als Elastomer verwendet und auf Spritzgießmaschine und -technologie, Materialeigenschaften und -anforderungen sowie Dichtungsanwendungen eingegangen.

**B – Session 2: Simulation****B – Session 2: Simulation****B 1**

**Dr. rer. nat. Lucian Pasiaka**, Eugen Seitz AG, Wetzikon, Switzerland,  
Dr.-Ing. Manfred Achenbach, Ingenieur- + Sachverständigenbüro Achenbach,  
Bietigheim-Bissingen, Germany

**Tightness and Permeation for Sealing Hydrogen – a Contribution on a Proper Material Choice**

O-rings used as sealing elements in hydrogen tanks and valves for fuel cell devices are not only exposed to high pressure but also simultaneously and temporary to low temperature. The sealability is an issue when both high pressure (>700bar) and simultaneously low temperature (-40°C) are present, because the glass transition temperature increases upon hydrostatic pressure and can shift up to 20°C above the value valid when subjected to atmospheric conditions. Thus the elastomeric sealing material becomes glassy at moderate low temperatures and primary leakage may temporary occur. Hydrogen molecules which dissolve in an elastomeric sealing material due to high pressure have been analyzed theoretically and by finite element analysis (FEA). Thus secondary leakage enforced by permeation can be determined with the derived formulas. Exposure to high pressure often causes cracks after decompression. The degree depends besides other issues on type of elastomer and rate of decompression and can be analyzed by a modification of Griffith's crack mechanics.

**Dichtigkeit und Permeation in Wasserstoffanwendungen – ein Beitrag zur Werkstoffauswahl**



O-Ringe, die als Dichtungselemente in Wasserstofftanks und Ventilen für Brennstoffzellen verwendet werden sind nicht nur hohen Drücken ausgesetzt, sondern gleichzeitig zeitweise auch niedrigen Temperaturen. Die Dichtheit kann kritisch werden, wenn gleichzeitig hohe Drücke und niedrige Temperaturen auftreten, weil die Glasübergangstemperatur mit dem hydrostatischen Druck zunimmt und dabei bis zu 20°C über ihrem Wert bei atmosphärischen Bedingungen ansteigen kann. Auf diese Weise wird das elastomere Dichtungsmaterial glasartig schon bei vergleichsweise weniger niedrigen Temperaturen und eine temporäre primäre Leckage kann die Folge sein. Das Einlösen der Wasserstoffmoleküle in die Dichtung unter hohen Drücken wurde theoretisch hergeleitet und mit Mitteln der Finiten Elemente Analyse berechnet. Damit wurde die Bestimmung der sekundären Leckage, die durch die Permeation hervorgerufen wird, berechenbar. Die Einwirkung hoher Gasdrücke und eine nachfolgende Dekompression verursacht häufig das Auftreten von Rissen. Das Ausmaß des Auftretens von Rissen ist unter anderem abhängig von der Zusammensetzung des Dichtungsmaterials und der Schnelligkeit der Druckentlastung. Letzteres kann analysiert werden mit Methoden der Rissmechanik.

**B 2**

**Benoît Omnès, Ph.D.**, CETIM, Nantes, France  
Dr. Sébastien Momon, AREVA TN, Montigny le Bretonneux, France

**Leak Tightness of Elastomeric O-rings for the Transport of Radioactive Material: Finite Element Analysis Application**



The first part of this article is dedicated to the study of the three different concepts of sealing systems intended to be used in transport cask lids by Finite Element Analysis. A simplified estimation approach of material parameters with an hyperelastic model was used to describe the rubber and to estimate some several physical parameters as: the gland fill, the contact lengths between the seal and the groove, the stress in the rubber of the seal and the associated strains. The evaluation of these parameters aim to contribute to an improvement of the design of sealing systems for

**Absolute Dichtheit von Elastomer-O-Ring-Dichtungen für den Transport radioaktiver Stoffe: Einsatz der Finite-Elemente-Analyse**

Der erste Teil dieses Artikels widmet sich der Untersuchung von drei unterschiedlichen Dichtungskonzepten im Deckel von Transportbehältern mittels der Finiten-Element-Methode. Eine vereinfachte Schätzung von Materialparametern und ein hyper-elastisches Modell wurden verwendet um das Elastomer zu beschreiben und wichtige Größen abzuschätzen: Füllgrad der Nut, Kontaktflächen zwischen Nut und Dichtring, Spannungen im Elastomer und zugehörige Dehnungen. Die Bewertung dieser Parameter zielt auf eine Verbesserung der Gestaltung des Dichtsystems für Transport-

casks by optimizing seal/groove contacts and reducing the stresses in the rubber seal for limiting the ageing during the operating period. Then, for qualifying the sealing solutions designed by AREVA TN, many tests are performed by the Cetim in order to characterize the sealing performance of EPDM and FKM O-rings which are used.

The second part is dedicated to the methodology of these experimental tests performed on O-rings at low and high temperatures. These tests are done in representative conditions as those in casks and are based on clearly defined criteria for the evaluation of O-rings sealing properties. The results of these tests are used in TN International safety analysis in order to demonstrate the leak tightness of casks.

behälter ab. Hierzu werden der Dichtring-Nut-Kontakt optimiert und die Spannungen im Elastomerdichtring reduziert um die Alterung während des Betriebs zu mindern. Um diese Ergebnisse auf die Dichtsysteme der AREVA TN zu übertragen wurden viele Versuche vom Cetim durchgeführt um die Eignung der verwendeten EPDM- und FKM-O-Ringe zu prüfen.

Der zweite Teil widmet sich der Methodik dieser O-Ring-Versuche bei geringen und hohen Temperaturen. Diese Versuche wurden unter, für diese Transportbehälter, typischen durchgeführt und basieren auf klar definierten Kriterien zur Bewertung von O-Ringdichtungen. Die Ergebnisse dieser Versuche werden in der TN-International-Sicherheitsanalyse verwendet um die Dichtheit dieser Transportbehälter zu demonstrieren.

### B 3

**Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Guth, Fakultät Maschinenbau, Hochschule Esslingen, Germany**

#### **New Trends in Life Cycle Analysis of Sealings**

#### ***Neue Entwicklungen bei der Lebenszyklusanalyse von Dichtungen***



Science and Research have gained manifold knowledge on the field of sustainability during the last 25 years. Appropriate approaches and methods, as e.g. the environmental life cycle assessment (DIN ISO 14040) have been created and standards were continuously developed further. Politics and society are nationally and internationally more and more committed in sustainability and are demanding concrete actions and results on recommendations and legal provisions. By now, these activities go far beyond the well-known discussion about CO<sub>2</sub>-emission.

In sealing technology, these findings don't seem to be practically implemented in the breadth of the branches. Especially medium-sized enterprises fear high costs, competitive disadvantages and the effort on creating these reports.

But especially seals are contributing strongly in saving energy and resources and offer a high potential in supporting environment-friendly technologies.

This presentation discusses legislative initiatives and the current developments on the LCA and its implementation using best practice examples. It will be shown how these activities are connected with economic success in sealing technology.

Possible approaches for the transformation of these knowledge into industrial usage will be discussed basing on current research of the author. It will be proposed how this can be established in enterprises, e.g. using a LCA toolbox for seals.

Die Wissenschaft und Forschung hat während der letzten 25 Jahre vielfältige Erkenntnisse auf dem Gebiet der Nachhaltigkeit gewonnen und entsprechende Ansätze und Methoden wie z.B. die Ökobilanzierung nach DIN ISO 14040 erstellt und die Standards und Normenwerke ständig weiterentwickelt. Politik und Gesellschaft sind national und international immer stärker auf dem Gebiet der Nachhaltigkeit aktiv und fordern konkrete Maßnahmen und Ergebnisse über Empfehlungen und gesetzliche Regelungen ein. Diese Aktivitäten gehen mittlerweile weit über die bekannten CO<sub>2</sub> Diskussionen hinaus.

Die praktische Anwendung der Erkenntnisse der Nachhaltigkeit scheint derzeit in der Dichtungsbranche noch nicht fundiert in der Breite umgesetzt zu werden. Insbesondere die mittelständischen Unternehmen befürchten hier Umsetzungshürden wie Kosten- und damit Wettbewerbsnachteile, sowie einen unverhältnismäßig hohen Aufwand bei Erstellen von Nachhaltigkeitsberichten.

Dabei tragen gerade Dichtungen erheblich zur Energie- und Ressourcenschonung bei und bieten damit ein ausgezeichnetes Potential nachhaltige umweltschonende Technologieentwicklungen zu unterstützen und neue Geschäftsfelder zu erschließen.

Dieser Vortrag stellt die aktuellen Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der LCA und deren Umsetzung anhand Best Practice Beispielen, sowie deren Gesetzesinitiativen vor und zeigt auf, wie diese Aktivitäten mit wirtschaftlichen Erfolgen verknüpft werden können.

Basierend auf aktuellen Forschungsarbeiten des Autors in der Industrie werden mögliche Ansätze zur Transformation dieser Erkenntnisse in die industrielle Umsetzung diskutiert. Gleichzeitig werden Wege aufgezeigt, wie diese effektiv in die Unternehmen eingeführt werden können, zum Beispiel über eine LCA Toolbox für Dichtungen.

**B – Session 3: Reciprocating Seals****B – Session 3: Translat. Dichtungen****B 4**

**Dr.-Ing. Mandy Wilke**, Holger Jordan, Telleborg Sealing Solutions, Stuttgart, Germany  
 Thomas Larsen, Ph.D., Trelleborg Sealing Solutions Helsingør, Denmark

**Performance of Sealing Materials in Fire Resistant Hydraulic Fluids**

**Zur Leistungsfähigkeit von Dichtungswerkstoffen in schwerentflammaren Druckflüssigkeiten**



In many hydraulic applications there is a high risk due to the flammability of pressure fluids. To avoid these risks fire resistant hydraulic fluids based on aqueous solution of polymer (polyglycol) are used. These HFC-fluids are biodegradable and low hazardous to waters. Therefore these fluids are very often used in offshore und sub sea applications. HFC-fluids change their tribological behaviour depending on water content (35% to 50%). This leads to unforeseen behaviour of in general approved sealing systems. Experiences from mineral oil applications cannot be spreaded into the HFC applications. Even fluids following the same technical specifications do show critical performance variations. This paper shows the influence of two HFC-fluids on the performance of several sealing materials for dynamic applications.

In vielen Hydraulikanwendungen bringt die leichte Brennbarkeit von Mineralölen ein hohes Risiko mit sich. Zur Vermeidung dieser Risiken werden schwerentflammare Flüssigkeiten auf Basis einer Lösung von Polymeren (Polyglykolen) in Wasser verwendet. Die Gruppe der HFC-Medien sind biologisch abbaubar und schwach wassergefährdend, weshalb sie häufig in Offshore und Sub Sea Anwendungen zum Einsatz kommen. HFC-Fluide verändern entsprechend des Wassergehaltes (35% bis 50%) auch ihre tribologischen Eigenschaften. Diese Tatsache führt zu der grundsätzlichen Problematik der richtigen Auswahl eines geeigneten Dichtsystems. Bereits bewährte Systeme kommen mit Design und Werkstoff an Belastungsgrenzen, die in der Öl-Hydraulik deutlich höher liegen. In diesem Beitrag wird am Beispiel zweier HFC Medien anhand von Versuchsergebnissen der Einfluss des Schmierstoffes auf Reibung und Verschleiß von dynamischen Dichtungen aufgezeigt.

**B 5**

**Sato Hiroaki**, Keisuke Nakashima, Kenichi Uchida, NOK corporation, Noriyuki Matsui, Japan

**Development of Zero Leakage Reciprocating Seals for Continuously Variable Transmissions**

**Entwicklung von leckagefreien translatorischen Dichtungen für stufenlose Getriebe**



In North America and Asia, there is growing trend toward vehicles with continuously variable transmission (CVT). Generally, plastic seal rings which have cut for its installation are used to set up the hydraulic circuits of CVT systems. The function of the seal rings is to maintain certain pressure of the circuit, i.e., some leakage is allowed while the hydraulic pump is working. In fact start-stop system usually has a subsidiary pump to maintain hydraulic pressure even while the engine is stopping. Developments for zero leakage seals were carried out. In this study, a single rubber squeeze packing and a slipper seal, which is the combination of continuous plastic ring and rubber squeeze packing, are examined.

In Nordamerika und Asien besteht ein Trend zu Fahrzeugen mit stufenlosen Getrieben (CVT). Üblicherweise werden ausgeschnittene Thermoplastdichtringe im Hydraulikkreislauf der Getriebe eingesetzt. Die Funktion dieser Dichtungen ist es eine gewisses Druckniveau im System zu halten, d. h. eine gewisse Leckagemenge ist bei arbeitender Pumpe zulässig. Start-Stopp-Systeme erfordern eine zusätzliche Pumpe um den Hydraulikdruck auch bei stehendem Motor aufrecht zu erhalten. Dies führte zur Entwicklung von leckagefreien Dichtungen. In diesem Beitrag werden Untersuchungen an einer Elastomerdichtung und einer Gleitdichtung als Kombination zwischen einem ununterbrochenen Thermoplastring und einer Elastomerdichtung vorgestellt.

**B 6**

**Dipl.-Ing. Thomas Papatheodorou**, Dipl.-Ing. Walter Igers, Dr.-Ing. Peter Kreissl, Parker Hannifin Manufacturing GmbH & Co. KG, Engineered Materials Group Europe, Bietigheim-Bissingen, Germany

**Tribology of Piston Seals on Drawn Over Mandrel Piston Tubes**

***Tribologie von Kolbendichtungen auf gezogenen Rohroberflächen***



In a lot of hydraulic cylinder applications the “over-engineered” piston tubes like honed or chromed and polished piston tubes are not used or required. Therefore a new standard for piston tubes in hydraulic cylinder applications are DOM-tubes (“drawn over mandrel”). This type of tube has a special manufacturing process which has a direct influence on the performance of the used hydraulic piston seals. In this paper the results of dynamic piston seals on such surfaces are presented and some recommendation for the users will be given.

In einer Vielzahl von hydraulischen Zylinderapplikationen werden keine hochwertigen Kolbenrohre wie gehönte oder verchromte und polierte Rohre verwendet oder benötigt. Hier werden dann vorwiegend gezogene DOM-Zylinderrohre eingesetzt. Die Verwendung dieses Rohrtyps hat einen direkten Einfluss auf das Betriebsverhalten der verwendeten Kolbendichtungen im dynamischen Einsatz. In diesem Paper wird auf einige wesentliche Ergebnisse von internen Untersuchungen eingegangen und Empfehlungen für deren Anwendung gegeben.

**B 7**

**B.Eng. Yan Zhixu**, B.Eng. Liu Jianhong, Guangzhou Mechanical Engineering Research Institute Co., Ltd., Guangzhou City, China

**Structural Analysis and Optimization Design for Piston Seal of Hydraulic Roof Support**

***Strukturanalyse und Optimierung von Kolbendichtungen für hydraulische Deckenstützen***



In the process of coal mining, hydraulic roof support is one of the most important equipments, and seals are key components affecting the performance of hydraulic roof support. This paper mainly studied the piston combination seal - one of the most important hydraulic roof support seals. Based on the test data of material properties, the structure and size of the piston combination seal was analyzed and optimized by the finite element analysis technology. The result provides reference data to determine interference, compression ratio, filling ratio and some other key dimension of piston combination seal. The research of this paper has played a positive role in promoting the quality and performance of hydraulic roof support seals, and has some certain reference value to structural optimization and improvement of important seals.

Beim Kohlebergbau zählen hydraulische Deckenstützen zu den wichtigsten Ausrüstungsgegenständen. Dichtungen sind darin Schlüsselkomponenten in Bezug auf deren Leistungsfähigkeit. Dieser Beitrag befasst sich mit der mehrteiligen Kolbendichtung – eine der wichtigsten Dichtungen in hydraulischen Deckenstützen. Basierend auf den Messungen von Materialeigenschaften wurden Bauform und Größe der Dichtung mittels der Finiten-Elemente-Methode analysiert und optimiert. Das Ergebnis basiert auf Überdeckung, Druckverhältnis, Füllgrad und weiteren wichtigen Dichtungsparametern. Die durchgeführten Forschungsarbeiten hatten einen positiven Einfluss auf die Leistungsfähigkeit hydraulischer Deckenstützen und leisten einen Beitrag zur Bauformoptimierung und Weiterentwicklung wichtiger Dichtsysteme.

**B – Session 4: Mechanical Seals****B – Session 4: Gleitringdichtungen****B 8**

**Prof. Dr.-Ing Peter Waidner**, Fakultät für angewandte Naturwissenschaften und Mechatronik, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Germany

**Introduction Lecture: Mechanical Seals throughout time – a historical and technological survey**

**Einführungsvortrag: Gleitringdichtungen im Wandel der Zeit – ein historisch-technologischer Abriss**

On the occasion of the first session on mechanical seals at the International Sealing Conference the chairman of the session holds an introductory lecture on the evolution of mechanical seals in changing times.

In addition to a historical review of the development towards high-performance mechanical seals and the thereby made technical changes of these seals an outlook will be given on the future of mechanical seals, with special attention paid on the topic „green technology“. (Note of the organizers: for introductory lectures no printed articles are available in the conference proceedings).

Anlässlich der bei einer Dichtungstagung erstmalig stattfindenden Session zum Thema Gleitringdichtungen hält der Vorsitzende der Session einen Einführungsvortrag über die Entwicklung der Gleitringdichtungen im Wandel der Zeit.

Neben einem historischen Rückblick auf die Entwicklung hin zur Hochleistungs-Gleitringdichtung und die dabei erfolgten technischen Veränderungen der Dichtungen wird ein Ausblick auf die Zukunft der Gleitringdichtungen, mit besonderer Behandlung des Themas „Green Technology“, gegeben.

(Hinweis des Veranstalters: zum Einführungsvortrag gibt es keine gedruckte Fassung im Tagungsband).

**B 9**

**Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Benjamin Hellmig**, Dr.-Ing. Ferdinand Werdecker, B.Sc. Bernhard Wetzke, EagleBurgmann, Wolfratshausen, Germany

**Separation Seals for Centrifugal Gas Compressors – Reliability & Efficiency**

**Lagerabdichtungen bei Zentrifugalverdichtern – Zuverlässigkeit und Funktionsfähigkeit**



The separation seal has a major function within the centrifugal compressor shaft sealing system. It prevents bearing oil contamination of the dry gas seal, hence its reliability depends on the reliability of the separation seal. Furthermore it prevents the bearing to be contaminated with process gas.

Several designs of the separation seals are applied in different industries. However, coaxial seals are regarded as new technology. The latter is supposed to fulfil the needs for improved separation between lubrication oil and process gas, simplified seal arrangement, reduced gas consumption and prolonged MTBF/MTBM.

On the basis of operational experience of the first coaxial separation seals, which are used in the field since 2011/12, energy- cost saving potentials for nitrogen supply can be figured out. For one single shaft centrifugal compressor with a shaft diameter of 120 mm for example this potential is approx. 12.000 €/a in case of replacing two static clearance type separation seals on the shaft ends.

Die Lagerabdichtung spielt eine zentrale Rolle im Wellendichtsystem von Zentrifugalverdichtern. Da diese eine Ölkontamination der Gasdichtung verhindert, hängt die Zuverlässigkeit der Gasdichtung von der Lagerabdichtung ab. Zusätzlich verhindert die Lagerabdichtung ein Eindringen von Prozessgas in das Lager.

In verschiedenen Branchen wird eine Vielzahl unterschiedlicher Bauformen von Lagerdichtungen verwendet. Koaxiale Dichtungen werden hingegen als neue Technologie angesehen. Diese sollen die gesteigerten Anforderungen bei der Trennung von Schmieröl und Prozessgas erfüllen. Es handelt sich dabei um vereinfachten Aufbau, verringerte Gasleckage und verlängerte Lebensdauer bzw. Wartungszyklen.

Auf Basis der Betriebserfahrung von seit 2011/2012 eingesetzten Drosselspaltabdichtungen kann die potentielle Kosteneinsparung durch verringerten Stickstoffverbrauch abgeschätzt werden. Im Falle eines Einwellenradialverdichters beträgt die Einsparung beim Austausch zweier Dichtsysteme an den Wellenenden und einem



When a coaxial separation seal is combined with a single dry gas seal, it can substitute a tandem arranged dry gas with internal labyrinths with regards to leakage and safety. However the design will benefit from a shorter axial length of the seal. A combination of a single dry gas seal with a coaxial separation seal can also simplify oil seal retrofits due to the short length and reduced number of housing connections. A coaxial separation seal can substitute the common separation seals used in compressors but also all other kind of labyrinth or carbon ring seals in different applications as long as the operating conditions match the design limits.

Wellendurchmesser von 120 mm ca. 12.000 € pro Jahr. Wenn die koaxiale Lagerabdichtung mit einer einzelnen Gasabdichtung kombiniert wird, kann dies eine Tandemgasdichtung mit internen Labyrinth ersetzen. Leckage und Betriebssicherheit bleiben vergleichbar. Die neue Lösung benötigt sogar einen kleineren axialen Bauraum. Die Kombination aus koaxialer Lagerabdichtung und Gasabdichtung vereinfacht zudem einen eventuellen Austausch bei Wartung aufgrund der geringeren axialen Länge und einer geringeren Anzahl von Verbindungen mit dem Gehäuse. Eine koaxiale Lagerabdichtung kann neben den standardmäßig verbauten Lagerabdichtungen alle Typen von Labyrinth- oder Graphitdichtungen in verschiedenen Anwendungen ersetzen, wenn die Betriebsanforderungen innerhalb den Einsatzgrenzen der Dichtung liegen.

## B 10

**Dr. Hans-Peter Mayer, Dipl.-Ing. Bernhard Borngräber, John Crane GmbH, Fulda**

### **Gas Lubricated and Dry Running Mechanical Seals for the Vessel and Agitator Applications**

### ***Gasgeschmierte und trockenlaufende Gleitringdichtung für die Abdichtung von Rührwellen***



Due to aggressive media and the special requirements regarding the processes, shafts of stirring devices in the process industry are usually sealed using mechanical seals. In the past mostly double-acting mechanical seals with liquid lubrication were used. However, because active ingredients have to be produced without any contamination, the leakage of such seals can be an intolerable source of contamination for applications in the biochemical and pharmaceutical industry. Dry Gas Seals using an inert gas as sealing medium instead of a fluid can overcome this problem.

This contribution explains the function principle of gas lubricated and dry running mechanical seals showing the advantages for the users.

Wellen von Rührwerken werden in der verfahrenstechnischen Industrie aufgrund der häufig aggressiven Medien und der speziellen Prozessanforderungen meist durch Gleitringdichtungen abgedichtet. In der Vergangenheit wurden dafür oft doppelwirkende, flüssigkeitsgeschmierte Gleitringdichtungen verwendet. Da Wirksubstanzen ohne Verunreinigungen hergestellt werden müssen, kann die Flüssigkeitsleckage einer solchen Dichtung bei Anwendungen in der biochemischen oder pharmazeutischen Industrie eine nicht zu akzeptierende Kontaminationsquelle sein. Als Problemlöser kommt hier immer öfter die gasgeschmierte Dichtung zum Einsatz. Anstelle einer Flüssigkeit wird hier ein Inertgas als Sperrmedium verwendet. Dieser Beitrag erläutert das Funktionsprinzip der gasgeschmierten und trockenlaufenden Gleitringdichtungen und veranschaulicht darüber hinaus die Vorteile für den Anwender.

**B 11**

**M.Eng. Stephan Neumann**, Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs, Dipl.-Ing. Felix Straßburger, Institut für Maschinenelemente und Maschinengestaltung (IME), RWTH Aachen University, Germany

**Simulation of a Microstructured Mechanical Axial Face Seal as Multibody System with Coupling to Elastohydrodynamics**

Friction and leakage of dynamic contact seals can be reduced by a defined structuring of the sliding surfaces. Compared to macroscopic structures, microscopic structures have the advantage of a quasi-homogenous influence on the fluid inside the sealing contact. The prototype test based development of suitable microstructures is expensive due to the required manufacturing methods and the necessary measurement devices. The simulation-aided development provides a cost- and time-saving alternative. This paper presents a method for the tribological investigation of a microstructured mechanical axial face seal. The seal is modelled as a flexible multi body system with a hydrodynamic sealing contact.

**Simulation einer mikrostrukturierten Laufwerksdichtung als Mehrkörpersystem mit Kopplung zur Elastohydrodynamik**



Durch die definierte Strukturierung der Gleitflächen dynamischer Kontaktdichtungen lassen sich Reibung und Leakage reduzieren. Mikroskopische Strukturen weisen dabei gegenüber Makrostrukturen den Vorteil eines quasi-homogenen Einflusses auf das Fluidverhalten im Dichtspalt auf. Die Entwicklung geeigneter Mikrostrukturen auf der Basis von Prototypen, deren Eigenschaften am Prüfstand untersucht werden, ist aufgrund der einzusetzenden Fertigungsverfahren und der im Versuch erforderlichen Messtechnik zur Untersuchung der im Dichtspalt auftretenden, komplexen tribologischen Wechselwirkungen mit hohen Kosten und einem hohen technologischen Aufwand verbunden. Die simulationsgestützte Entwicklung mikrostrukturierter Dichtungsgleitflächen bietet hier eine kosten- und zeitsparende Alternative. In diesem Beitrag wird eine Methode zur Untersuchung des Tribosystems einer definiert mikrostrukturierten Laufwerksdichtung durch die Simulation der Dichtung als flexibles Mehrkörpersystem unter Berücksichtigung der Elastohydrodynamik im Dichtkontakt beschrieben.

**B – Session 5: Static Seals****B – Session 5: Statische Dichtungen****B 12**

**Dipl.-Ing. Sascha Bader**, Robert Bosch GmbH, Reutlingen, Germany, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart, Germany, Dr.-Ing. Bernd Stiegler, Robert Bosch GmbH, Reutlingen, Germany

**Design Criteria to Avoid Corrosion Creep of Static Seals**

Static Sealing Systems exposed to corrosive environments may show corrosion creep due to corrosive degradation of the metallic seal face. A possible consequence might be the ingress of fluid, corrosion products or moisture to the sealed region. Therefore, to ensure the functionality of the sealing system corrosive loads have to be taken into account during design. This paper describes a method to characterize static sealing systems with respect to their corrosion creep stability. Corrosion tests were done to investigate the behavior of different elastomeric seals. Based on these results, a specific parameter to characterize a static

**Auslegungskriterien zur Vermeidung korrosiver Durchwanderung statischer Dichtungen**



Statische Dichtsysteme, die in korrosiven Umgebungen eingesetzt werden, können korrosiv unterwandert werden. Ursache hierfür ist eine korrosive Schädigung der metallischen Dichtflächen. Eine mögliche Folge ist der Eintritt von Flüssigkeit, Korrosionsprodukten und Feuchtigkeit in den abzudichtenden Innenraum. Um die Funktionalität des Dichtsystems sicherzustellen, muss die Auslegung der Dichtstelle daher unter Berücksichtigung der korrosiven Lasten erfolgen. Dieser Beitrag beschreibt eine Methode, um statische Dichtsysteme hinsichtlich ihrer korrosiven Unterwanderungsbeständigkeit zu charakterisieren. Grundlage

seal is proposed: the corrosion creep resistance RDW. It depends on the contact width and the contact pressure of the seal and can be influenced by design. This method allows reliable designs of sealing systems under corrosive loads.

hierzu bilden experimentelle Untersuchungen, in denen das Unterwanderungsverhalten unterschiedlicher Elastomer-Profilabdichtungen in einem Korrosionstest untersucht wurde. Basierend auf den Ergebnissen dieser Versuchsreihe wird eine Kenngröße zur Charakterisierung einer statischen Dichtstelle vorgeschlagen: der Durchwanderungswiderstand RDW. Er ist abhängig von der Berührbreite und dem Verlauf der Dichtpressung und kann bei der Auslegung der Dichtstelle durch konstruktive Maßnahmen gestaltet werden. Diese Methode ermöglicht die zuverlässige Auslegung eines Dichtsystems unter bekannten korrosiven Belastungen.

## B 13

Yansong Wang, Ph.D., Aaron Dick, Casey Anude, Baker Hughes, The Woodlands, USA

**Optimization of High Aspect Ratio Elastomer Seal to Improve Drill Bit Bearing/Seal Reliability in High-RPM Drilling Application**

***Optimierung der Größenverhältnisse von Elastomerabdichtungen zur Verbesserung der Zuverlässigkeit von Dichtsystemen für Bohrer bei Anwendungen mit hohen Drehzahlen***



With the increasing global demand for oil and gas, drilling operations are deeper and faster than ever before. Reducing drilling time and cost are critical for operators to be competitive in the marketplace. Since the first sealed bearing roller-cone bits were developed in 1959, the roller-cone drill bit bearing life has seen significant improvements. The O-ring configuration has been used as the traditional bearing seal for drill bit systems roller-cone drill bits. Over the years the cross section of O-rings has been increased substantially to offset the common wear patterns observed in abrasive and high-RPM applications.

The high aspect ratio (HAR) seal has been developed to meet the high-temperature, high-RPM drilling requirement.

This paper discusses the methodology that can be used to optimize the HAR seal in drill bit design to minimize seal wear, extend the drill bit life. Finite-element analysis (FEA) was performed to improve seal stabilization. In the meantime, the seal dimension is optimized to minimize the wear.

Aufgrund der globalen Nachfrage nach Öl und Gas laufen Förderbohrungen schneller und tiefer ab als je zuvor. Die Reduzierung von Bohrdauern und –kosten sind für den Betreiber kritische Größen um wettbewerbsfähig zu sein. Seit den ersten Rollenmeißeln mit abgedichteten Lagern von 1959 wurde die Lagerlebensdauer in Rollenmeißeln erheblich verlängert. Ursprünglich wurden O-Ringe zur Abdichtung eingesetzt. Über die Jahre stieg der Schnurdurchmesser wesentlich an, um den Verschleiß in Anwendungen mit hohen Drehzahlen und abrasiven Medien auszugleichen.

Ein Dichtring mit großem Seitenverhältnis (HAR-Dichtung, High Aspect Ratio) wurde entwickelt um den hohen Temperatur- und Drehzahlenforderungen beim Bohren zu begegnen.

Dieses Paper stellt die Methodik vor, die eingesetzt werden kann um den HAR-Dichtring im Hinblick auf Verschleiß und eine längere Bohrkopflebensdauer zu optimieren. Die Stabilität des Dichtrings wurde mittels Finit-Elemente-Methode verbessert. Inzwischen wurde die Gestaltung des Dichtrings optimiert um den Verschleiß zu minimieren.

**B 14**

**Werner Ottens**, Dipl.-Ing. Rolf Hahn, Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (MPA), Germany

**Friction- and Sealing Behaviour of Stuffing Box Stem Seals in Valves with Conditioned Packings of Graphite**

It was discovered by chance during an AiF research project at the Material Testing Institute University Stuttgart while investigating stuffing box packings in connection with coated stems, that the relative humidity during the storage of packing material of pure graphite may have significant effects on the frictional- and tightening behavior of stem sealing.

During an attempt to run all tests under the same boundary conditions (storage of the packing material according to DIN EN 13555 at a relative humidity of  $50 \pm 6\%$ ) the results found with packings conditioned this way were not comparable with packings stored at a relative humidity of about 40 %.

Initial tests were carried out with systematically varied humidity. The results will be presented and should be of interest for all persons dealing with stuffing box packings of graphite.

**Reib- und Abdichtverhalten von Spindelabdichtungen in Armaturen mit konditionierten Graphitpackungen**



Mehr zufällig wurde im Rahmen eines AiF-Forschungsprojekts zur Untersuchung von Stopfbuchspackungen in Verbindung mit beschichteten Spindeln an der Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart festgestellt, dass die relative Luftfeuchtigkeit bei der Lagerung von Packungsmaterial aus Reingraphit einen erheblichen Einfluss auf das Reib- und Abdichtverhalten von Spindelabdichtungen haben kann.

Als versucht wurde, alle Versuche unter möglichst gleichen Bedingungen stattfinden zu lassen, wurde für die Lagerung entsprechend der Vorgabe aus DIN EN 13555 eine relative Luftfeuchtigkeit von  $50 \pm 6\%$  gewählt. Die Ergebnisse, die mit derart konditionierten Packungen erzielt wurden, waren mit vorausgegangenen Versuchen mit Packungen, die bei ca. 40% relativer Feuchte gelagert worden waren, nicht mehr zu vergleichen.

Es fanden erste Versuche mit systematisch variiertes Luftfeuchtigkeit statt, deren Ergebnisse vorgestellt werden sollen. Die Ergebnisse dürften für alle, die mit Spindelabdichtungen im Zusammenhang mit Packungen aus Reingraphit zu tun haben, von großem Interesse sein.

**B 15**

**B.Sc. Dene Halkyard**, Flexitallic Ltd Scandinavia Mill, Cleckheaton, United Kingdom

**Refinery Based Case Study of a Novel Gasket Designed for Use in Problematic Shell and Tube Heat Exchangers**



Successful sealing of shell and tube heat exchangers in the refining and petrochemical industries can be a challenge. The ability of a modern refinery to deal with a range of crude feedstocks and change process conditions to meet seasonal product demand patterns can have a bearing on sealing performance. This paper provides a brief overview of the shell and tube heat exchanger; its basic design and some of the problems associated with sealing this type of equipment. It discusses some of the commonly employed gasket styles used in sealing shell and tube heat exchangers and some of their shortcomings; particularly with regard to cyclic service in which axial and radial gasket stress

**Fallstudie von für Raffinerien vorgesehene neuartigen Flachdichtungen zur Verwendung in problematischen Rohr-bündelwärmetauschern**

Erfolgreiches Abdichten von Mantel-Rohr-Wärmetauschern in Raffinerien und petrochemischer Industrie kann eine Herausforderung darstellen. Die Fähigkeiten moderner Raffinerien eine Vielzahl an Ausgangsrohmaterialien zu verarbeiten und Prozessbedingungen an saisonale Nachfragemuster anzupassen kann Einflüsse auf das Dichtungsverhalten haben. Dieser Beitrag gibt einen knappen Überblick über den Mantel-Rohr-Wärmetauscher: Grundlagen, Gestaltung und einige Probleme die bei der Abdichtung solcher Anlagen auftreten. Es werden einige der verwendeten Dichtungstypen und deren Mängel behandelt. Insbesondere mit Blick auf zyklische Belastung die aufgrund

can fluctuate giving rise to premature seal failure. A novel gasket design is introduced and benchmark laboratory testing verses more commonly used gasket styles is reviewed. UK refinery field service, using the novel gasket design in a number of problematic heat exchangers is discussed. The exchangers are an integral part of the refineries visbreaking unit and are subject to frequent de-coking and seasonal changes in operating conditions. This has given rise to a history of poor sealing performance using conventional gasket styles.

wechselnder axialer und radialer Beanspruchung zu einem frühzeitigen Ausfall der Dichtung führen können. Eine neue Dichtungsgestaltung wird vorgestellt und Labortests mit Referenz auf handelsübliche Dichtungen werden präsentiert. Der Einsatz der neuen Dichtung in problematischen Wärmetauschern britischer Raffinerien wird erörtert. Die Wärmetauscher sind ein wesentlicher Bestandteil der Visbreaking-Anlage und unterliegen regelmäßigem Decoking und saisonal variierenden Betriebsbedingungen. Dies war häufig Ursache von schlechter Dichtwirkung konventioneller Dichtungen.

## B – Session 6: Simulation

## B – Session 6: Simulation

### B 16

Yann Goerger, Benoît Omnes, Ph.D. CETIM, Nantes, France

#### Thermal Influence on Lip Seal Radial Force – Experimental and FEA Approaches

#### Temperatureinfluss auf die Radialkräfte auf Dichtlippen – Experimentelle und numerische Untersuchungen



In the industry, users are often facing a lack of information about the lip seal behaviour to improve its performance in use. Radial Load is one of the main characteristics for a radial lip seal, but as thermal conditions have a huge influence on the radial lip seal constitutive rubber material mechanical behaviour, it is not easy to have a good view of its performance in real conditions.

Instead of using specific samples to determine material parameters, it is much better to use directly the real seal part. Tests can easily be carried out on seals with a specific dedicated rig and this for several temperature conditions in order to predict the evolution of the Radial Load regarding time and temperature. A theoretical time-temperature Radial Load behaviour can be determined based on experimental results and time-temperature superposition principle. The material parameters of the hyperviscoelastic model can be identified with Finite Element Analyses using an inverse method as well as the experimental results at each temperature. A good description of the lip seal behaviour with temperature is possible with the simulation.

Anwendern von Radial-Wellendichtungen stehen oftmals nicht alle nötigen Informationen über das Betriebsverhalten zur Verfügung um die Leistungsgrenzen auszuschöpfen. Die Radialkraft ist eine der Hauptmerkmale von Radial-Wellendichtungen. Da sich jedoch thermische Einflüsse stark auf die Materialeigenschaften des Elastomerdichtelements auswirken ist es schwer diese im Betrieb abzuschätzen.

Verglichen mit der Verwendung von spezifischen Werkstoffproben bei der Bestimmung von Werkstoffkennwerten ist es der bessere Ansatz, den Dichtring direkt zu verwenden. Mit einer speziellen Vorrichtung sind diese Messungen bei verschiedenen Temperaturen ohne großen Aufwand durchführbar. Damit lässt sich der temperaturabhängige zeitliche Verlauf der Radialkraft bestimmen. Aufbauend auf den Messungen und mittels Zeit-Temperatur-Superposition wurde ein theoretisches Modell erstellt, dass die Radialkraft zeit- und temperaturabhängig beschreibt. Die Materialparameter dieses hyperviskoelastischen Modells können mittels Finiter-Elemente-Methode bestimmt werden. Hierzu werden eine inverse FEM-Methode und die Messwerte verwendet. Die Simulation ermöglicht eine gute Beschreibung des temperaturabhängigen Verhaltens des Dichtelements.

## B 17

**Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Kletschkowski**, Peter Malcherczyk, Fakultät Technik und Informatik, Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau, HAW Hamburg, Germany

### First Investigations on Actuation Forces in Adaptive Rotary Shaft Seals



EN

To improve the dynamic response of flexible systems, it is possible to modify the primary structure by changing elastic and/or inelastic properties. Furthermore, passive elements such as isolators or dynamic absorber can be applied to reduce the vibration level of systems that are excited by dynamic loads. Nowadays, it is also possible to use active control strategies that can be applied to modify the system behavior in a proper way. A typical problem of active vibration control can be derived, if the radial displacement of a rotary shaft seal caused by eccentric shaft rotation is analyzed. To avoid leakage under such conditions, it is necessary to guarantee followability as well as to avoid resonances. This can be achieved, if active control based on direct velocity feedback is applied as discussed in the present paper. The presented results are derived from a simplified model that has been used to simulate the radial displacement of an elastomeric rotary shaft seal. It contains four structural parameters (dynamic mass of seal, elasticity of sealing lip, elasticity and viscosity of flexible section). A specific set of parameters (data taken from literature) has been used for simulation. It has been found that active control based on direct velocity feedback can effectively be applied to suppress resonances of the seal structure. Further investigations will focus on feasibility studies for actuation strategies as well as on concept studies for the overall control systems including adaptive signal processing.

### Erste Untersuchungen zu Stellkräften in adaptiven Wellendichtringen

Um die Dynamik flexibler Systeme zu verbessern ist es möglich die Primärstruktur durch Veränderung der elastischen und/oder unelastischen Eigenschaften zu modifizieren. Ferner können passive Elemente wie Entkoppler oder Schwingungstilger verwendet werden um von dynamischen Anregungen erzeugte Schwingungen zu dämpfen. Heutzutage ist es ebenso möglich das Systemverhalten mittels aktiver Regelstrategien in geeignetem Maße zu beeinflussen. Ein typisches Problem aktiver Schwingungsbeeinflussung liegt vor, wenn die radiale Auslenkung einer Wellendichtung infolge von Wellenexzentrizität analysiert wird. Um Leckage zu vermeiden ist es unter solchen Bedingungen erforderlich sowohl die Folgebewegung der Dichtkante zu garantieren, als auch Resonanzschwingungen zu vermeiden, beispielsweise durch eine, auf einem direkten Geschwindigkeitsfeedback beruhende, aktive Regelung erreichbar wie sie in diesem Beitrag behandelt wird. Dieser Beitrag beschreibt eine Simulation eines Modells mit vier Strukturparametern (dynamische Masse des Dichtrings, Elastizität der Dichtlippe, Elastizität und Viskosität des beweglichen Bereichs) unter Nutzung eines spezifischen Parameteransatzes (Literaturdaten). Wie die Ergebnisse zeigen, kann die aktive Schwingungsbeeinflussung auftretende Resonanzen effektiv unterdrücken. Zukünftige Untersuchungen beinhalten Machbarkeitsstudien verschiedener Betätigungskonzepte sowie auf Konzeptstudien des Gesamtsystems inklusive adaptiver Signalverarbeitung.

## B 18

**M.Sc. Fabian Kaiser**, Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co.KG, Weinheim, Germany,

Prof. Dr.-Ing. Bernd Sauer, Lehrstuhl für Maschinenelemente und Getriebetechnik (MEGT), Technische Universität Kaiserslautern, Germany,

Dr.-Ing. Steffen Eckert, Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co.KG, Weinheim, Germany

### Development and Validation of a New Method for the Simulation of Starved Conditions and Leakage of Rod Seals



EN

While starved lubrication of roller and ball bearings has been analyzed experimentally and via numerical simulation to a great extent in the past years, this knowledge has hardly been transferred to the simulation of rod seals. This is surprising considering the fact

### Entwicklung und Validierung eines neuen Berechnungsansatzes zur Simulation von Mangelschmierung und Leckage von Stangendichtungen

Während Mangelschmierung bei Wälzlagern in den vergangenen Jahrzehnten sowohl experimentell als auch mittels Simulationen sehr genau analysiert worden ist, wurde dieses Wissen kaum auf die Berechnung von Stangendichtungen übertragen. Dies



that rod seals usually operate in starved conditions during the in-stroke of the rod when only the very small amount of oil remaining on the rod from the outstroke is available as lubricant supply.

In this presentation, a newly developed method is described. The method is based on the modified Inverse Hydrodynamic Lubrication theory with an added boundary condition to account for starved lubrication. The modified approach enables the user to calculate the change in film thickness in starved conditions but also to estimate the leakage of a reciprocating seal. A comparison of the simulation results with measurements shows a very good agreement. Thus, it can be concluded that this new approach gives the user valuable information on the dynamic behavior of the seal, which is a very important factor for understanding and improving seal designs to meet future performance demands.

überrascht angesichts der Tatsache, dass diese Dichtungen im Normalfall bei einfahrender Stange unter Mangelschmierungsbedingungen eingesetzt werden, wenn nur der sehr dünne Schmierfilm auf der Stange zur Schmierung zur Verfügung steht.

In diesem Vortrag wird eine neuentwickelte Methodik vorgestellt, die auf dem modifizierten Ansatz der inversen Schmierfilmberechnung basiert. Zur Berücksichtigung von Mangelschmierung wurde eine zusätzliche Randbedingung integriert. Dies ermöglicht es dem Anwender, die Filmdicke unter Mangelschmierungsbedingungen sowie die Leckage einer Stangendichtung zu berechnen. Ein Vergleich der Simulationsergebnisse mit Messungen zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Das führt zu der Schlussfolgerung, dass diese Methode dem Anwender weitere, wertvolle Informationen zum dynamischen Verhalten der Dichtung liefert und somit ein wichtiger Faktor zum Verständnis und damit zur Weiterentwicklung des Dichtungsdesigns ist.

## B 19

Yuli Huang, **Prof. Sc.D. Richard F. Salant**, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA

### Numerical Modelling of a Hydraulic Rod Seal with a Micro-Patterned Rod

### *Numerische Modellierung einer hydraulischen Stangendichtung mit einer mikrostrukturierten Stange*



The objective of the present study is to reduce the friction of rod seals while, at the same time, preventing leakage. Over the last several years there has been substantial tribological research on reducing friction by the application of micro-patterns on mating surfaces using laser texturing and photolithography. This has been applied to such machine elements as journal bearings, piston rings and mechanical seals. The present study takes a similar approach, applied to rod seals, initially considering a pattern of micron-scale triangular cavities in the surface of the rod. A numerical model consisting of a fluid mechanics analysis, utilizing a two-dimensional Reynolds Equation, and a contact mechanics analysis, utilizing the Greenwood-Williamson model, is used to investigate the effects of the micro-pattern on seal friction and leakage, as well as on the fluid pressure and contact pressure distributions in the sealing zone, and on the film thickness distribution.

Ziel der gegenwärtigen Arbeiten ist die Reibungsreduzierung von Stangendichtung bei gleichzeitigem Vermeiden von Leckage. Während der letzten Jahre wurde viel grundlegende tribologische Forschungsarbeit zur Reibungsreduzierung geleistet. Diese befassten sich mit, durch Lasertexturierung oder Fotolithographie erzeugten, Mikrostrukturen auf den Kontaktflächen. Dies findet in Maschinenelementen wie Gleitlagern, Kolbenringen und Gleitringdichtungen Verwendung. Der vorliegende Beitrag überträgt diesen Ansatz auf Stangendichtungen in Form eines Musters aus dreieckigen Mikrostrukturen in der Stangenoberfläche. Ein numerisches Modell wird zur Untersuchung des Einflusses der Strukturen auf Dichtungsreibung, Leckage, Fluiddruck, Pressung im Dichtkontakt und Filmdickenverteilung verwendet. Dieses Modell nutzt die zweidimensionale Reynolds-Gleichung zur Berechnung der Fluidmechanik und das Greenwood-Williamson-Modell zur Berechnung der Kontaktmechanik.

**B 20**

**Dipl.-Ing. Matthias Baumann**, Dr.-Ing. Frank Bauer, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart, Germany

**Measurement, Analysis and Evaluation of Shaft Counterfaces for the Tribo-System Radial Lip Seal**

Radial Lip Seals made of elastomeric materials are applied million times in today's machines and plants. More and more often, ignorance in combination with the urge to increase efficiency in the manufacturing process cause serious sealing problems. Responsible for this is often the production of the shaft counterface. In order to reduce the costs, the manufacturing times are drastically reduced. One of the possible results is lead on the shaft counterface. A comprehensively quality control is not possible on the present state of technology and therefore not satisfactory. Diverse, highly specialized lead evaluation methods must be used to achieve meaningful results. This requires high expertise and several expensive measurement instruments. For this reason, new approaches are being pursued at the University of Stuttgart to solve these problems. A measurement strategy, based on optical metrology and new methods of digital image processing provides promising results. This conference paper presents these methods. Based on experimental studies with various shaft counterfaces, the high potential of the new approach is demonstrated. In this way, an accurate assesment of the suitability of shaft counterfaces in terms of sealing technology is made possible and allows the production of reliable sealing systems.

**Messung, Analyse und Bewertung von Dichtungsgegenauflflächen für das Tribo-System Radial-Wellendichtung**



Radial-Wellendichtungen mit Dichtringen aus Elastomer-Materialien finden in heutigen Maschinen und Anlagen millionenfach Anwendung. Immer häufiger jedoch führen Unwissen in Kombination mit dem Drang zur Effizienzsteigerung in der Fertigung zu Dichtheitsproblemen. Verantwortlich ist hierfür oft die Fertigung der Dichtungsgegenauflfläche in der eigenen Produktion. Um die Kosten zu senken werden Prozesszeiten drastisch reduziert. Das Resultat ist Drall auf der Dichtungsgegenauflfläche. Eine Qualitätskontrolle ist auf dem derzeitigen Stand der Technik nicht umfassend möglich und demnach nicht zufriedenstellend. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen, müssen verschiedene, hoch spezialisierte Drallauswertungsmethoden angewandt werden. Dies setzt hohes Expertenwissen und verschiedene, teure Messtechnik voraus. Aus diesem Grund werden am Institut für Maschinenelemente neue Ansätze verfolgt diese Probleme zu lösen. Eine Messstrategie, basierend auf schneller optischer Oberflächenmesstechnik und neuen Methoden aus der digitalen Bildverarbeitung zeigt vielversprechende Ergebnisse. In diesem Konferenzbeitrag werden diese Methoden vorgestellt. Anhand experimenteller Untersuchungen mit verschiedenen Dichtungsgegenauflflächen wird das Potential des Ansatzes aufgezeigt. Eine treffende Bewertung der dichtungstechnischen Eignung verschiedener Wellenoberflächen wird somit möglich und erlaubt die Herstellung funktionssicherer Dichtsysteme.

**B 21**

**Dipl.-Ing. Marco Remppis**, Dr.-Ing. Frank Bauer, Prof. Dr.-Ing. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart, Germany

**Evaluation of Radial Lip Seals by the Pump Rate**

Radial lip seals are complex tribological systems with a complicated sealing mechanism. Leak tightness is achieved by a reverse pumping effect, which is directed from the seal's air side to its oil side. The pumping effect can be explained by several hypotheses which are all based on the asymmetric pressure distribution in the sealing gap. However, according to the current state of art a reliable prediction of the pump rate or the prediction whether the seal will be leak tight or not by means of simulation is not possible yet. Relating to the sealing mechanism the pump rate is an important property of the system. The focus of this pa-

**Bewertung von Radial-Wellendichtungen anhand des Förderwerts**



Radial-Wellendichtungen mit Elastomerdichtkante sind komplexe tribologische Systeme mit einem äußerst komplizierten Dichtmechanismus. Die Auslegung sorgt bei Konstrukteuren häufig für Unsicherheit. Die gute Dichtigkeit von Radial-Wellendichtringen wird im dynamischen Betrieb durch eine aktive Fluidförderung erreicht, welche von der Luftseite hin zur Ölseite gerichtet ist. Bekannt ist, dass diese Fluidförderung auf eine asymmetrische Presungsverteilung im Dichtspalt zurückzuführen ist. Es gibt unterschiedliche Hypothesen zur Erklärung dieses Phänomens. Eine zuverlässige Berechnung von Förderwerten oder die Berechnung von Dichtheit bzw. Leckage

per is on the evaluation of radial lip seals by the pump rate. Based on experimental data an empirical model was computed describing the pump rate as a function of several influencing parameters.

In additional experiments seals of different manufacturers were analysed. Regarding the pump rate significant differences could be observed. But the experiments also showed that the pump rate's behaviour as a function of different influencing parameters is comparable, also for different manufacturers.

Hints for practical use of the results are given as well as an outlook to further studies.

mittels Simulation ist nach aktuellem Stand der Technik jedoch nicht möglich.

Auf Grund seines direkten Bezugs zum Dichtmechanismus ist der Förderwert eine wichtige Kenngröße. Ziel des Beitrags ist die Bewertung von Radial-Wellendichtungen anhand des Förderwerts. Dabei erfolgte die Förderwertbestimmung zunächst experimentell. Auf Basis der Messergebnisse wird schließlich ein empirisches Berechnungsmodell gebildet, welches das Systemverhalten in Abhängigkeit seiner Einflussgrößen sowie inklusive der auftretenden Wechselwirkungen beschreibt.

In ergänzenden Untersuchungen werden die Unterschiede von Dichtringen verschiedener Hersteller betrachtet. Dabei treten teilweise sehr unterschiedliche Förderwerte auf. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass das Grundverhalten des Systems trotz unterschiedlich hoher Förderwerte weitgehend erhalten bleibt.

Abschließend wird die Praxisbedeutung der Ergebnisse erläutert und ein Ausblick auf weiterführende Fragestellungen gegeben.

## B 22

**Dipl.-Ing. Philipp Arnecke**, Prof. Dr.-Ing. Jörg Seewig, Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Lehrstuhl für Messtechnik und Sensorik, Technische Universität Kaiserslautern, Germany

### A Strategy for Micro-Twist Characterization on the Shaft in a Rotary Shaft Sealing System



Ground surfaces are widely used for shafts in rotary shaft sealing systems. Lead structures on the surface can lead to dry-run or leakage and have to be detected and characterised. The structures are classified into macro lead (when they are periodic) and into micro lead in case of stochastically distributed grooves from grains on the grinding disk. Literature states that the inclination of the structures to the circumferential direction at which leakage can result starts from 1/12 degree upwards. Detection of such small angles requires very precise knowledge of the orientation of the shaft's axis to the measuring instrument, suitable measuring instruments and specialised evaluation algorithms. Here a strategy for the evaluation of the angle of micro lead structures is presented. First methods to obtain the orientation of the shaft's axis using v-blocks are discussed and a prototype of a mobile measuring system for large shafts is shown. Then measurements using two different algorithms to assess the texture direction are described. Both algorithms show a high agreement on a shaft rotated in small increments as well as on further measurements on a shaft. The results from the two algorithms are compared to the surface texture direction parameter Std from DIN EN ISO 25178-2. Finally a processing scheme for scale-space decomposition of the surfaces based on morphological image processing is proposed to accommodate tribological effects at different scales.

### Eine Strategie zum Nachweis von Mikrodrall auf der Wellengegenlauffläche des Radialwellendichtungs

Geschliffene Oberflächen sind in Radialwellendichtungen weit verbreitet. Drallstrukturen auf der Oberfläche können zu Trockenlauf oder Leckage führen und sind daher zu detektieren und zu charakterisieren. Diese Strukturen werden in Makrodrall und Mikrodrall unterteilt. Als Makrodrall werden periodische Strukturen bezeichnet, als Mikrodrall werden stochastische, von Körnern der Schleifscheibe erzeugte Strukturen bezeichnet. Nach der Literatur können Strukturen die mehr als 1/12 Grad zur Umfangsrichtung ausgerichtet sind zu Leckage führen. Die Detektion solch kleiner Winkel erfordert die exakte Kenntnis der Lage der Wellenachse zum Messgerät sowie geeignete Messgeräte und spezialisierte Auswertalgorithmen. In diesem Beitrag wird ein Ansatz zur Ermittlung des Strukturwinkels von Mikrostrukturen vorgestellt. Hierzu werden zunächst Methoden zur Ermittlung der Orientierung der Wellenachse mittels Prismaauflage erörtert und auch ein Prototyp eines mobilen Messsystems für große Wellen gezeigt. Messungen mittels zwei verschiedene Algorithmen zur Ermittlung der Texturausrichtung werden präsentiert, die auch bei Messungen an weiteren Positionen eine gute Übereinstimmung zeigen. Die Ergebnisse beider Algorithmen werden mit dem Texturrichtungsparameter Std der DIN EN ISO 25178-2 verglichen und abschließend ein, auf morphologischer Bildbearbeitung beruhendes, Auswerteverfahren zur Analyse der Oberflächen im Skalenraum vorgestellt, um tribologische Effekte auf multiskalar zu betrachten.

## C 1

Dipl.-Ing. Bernhard Richter, O-Ring Prüflabor Richter GmbH, Großbottwar, Germany

**Lifetime of NBR-, EPDM-, HNBR- and FKM O-rings – Presentation of the State of the Art of O-rings – Influenced by Gland Design (Squeeze and Gap) and Service Conditions (Temperature, Media)**

***Lebensdauer von NBR-, EPDM-, HNBR- und FKM-O-Ringen – Darstellung des Standes der Technik von O-Ringen unter Berücksichtigung von Einflüssen durch den Einbauraum (Dichtspalt und Verpressung) und den Betriebsbedingungen (Temperaturen, Medien)***



Presentation of the state of the art of o-rings and the influence of gland design (gap and squeeze) and service conditions (temperature, contacting media)

Although that the long-term behavior of o-rings is of high importance for the industry, the technical literature does not offer a really support for a realistic lifetime prediction for o-rings. This presentation wants to show, under which conditions the evaluation of long-term experiments on O-rings according to Arrhenius is useful or productive. At first it will be discussed the influences leading to failure of O-rings, to define a realistic life criterion. This is to show by means of various parametric studies of the influence of the cross-section, the gap dimension, the media, the temperature profile and the degree of deformation. It also explains how O-rings must be specified, so the available state of the art is also exploited here and how the new O-ring material standard ISO / DIS 3601-5 (2013-07) provides a useful assistance. Finally, realistic lifetime limits on the use of NBR HNBR, FKM and EPDM O-rings are shown from long-term studies.

Obwohl das Langzeitverhalten von O-Ringen von großer praktischer Bedeutung ist, findet man in der technischen Literatur kaum eine Hilfestellung dabei, die Belastungsgrenzen der O-Ringe realistisch abschätzen zu können. Der Beitrag soll zu-nächst einmal aufzeigen, unter welchen Randbedingungen die Auswertung von Langzeitversuchen an O-Ringen nach Arrhenius sinnvoll bzw. zielführend ist. Hierzu soll erst einmal aufgezeigt werden, was zum Versagen von O-Ringen führt, um ein realitätsnahes Lebensdauerkriterium zu definieren. Dabei soll anhand verschiedener Parameterstudien der Einfluss der Schnurstärke, des Spaltmaßes, der Medien, des Temperaturverlaufes und des Verformungsgrades aufgezeigt werden. Darüber hin-aus wird erläutert, wie O-Ringe spezifiziert werden müssen, damit der zur Verfügung stehende Stand der Technik auch ausgeschöpft wird und inwiefern hier die neue O-Ring Werkstoffnorm ISO/DIS 3601-5 (2013-07) eine brauchbare Hilfestellung bietet. Schließlich werden aus Langzeituntersuchungen realistische Lebensdauergerenzen für den Einsatz von NBR- HNBR-, FKM- und EPDM-O-Ringen aufgezeigt.

## C 2

**Mickaël Sansalone**, Ph.D., Dr. Sebastien Blachere, SKF Engineering & Research Centre (ERC), Nieuwegein, The Netherlands

Maurice Gohlke, INSA De Lyon / SKF ERC (Research partnership), Villeurbanne, France

**Onto Fast, Automated and Advanced Viscoelastic Modeling of Rubber Materials for Sealing Applications**

***Automatisierte Aufbereitung von Elastomer-Materialdaten und Erstellung komplexer viskoelastischer Materialmodell-Parameter zur Simulation von Dichtungsanwendungen***



The intrinsic viscoelastic nature of sealing materials introduces a strong dependency of their properties, namely the loss and storage moduli, on excitation frequency and reciprocally on temperature. If neglected, dynamic effects combined with thermally-induced change of rubber stiffness in application can lead to poor performance and eventually to disastrous seal failure.

Quasi-static simulations, often encountered in early industrial design phases and which usually combine FEA and hyper-elastic material modelling, are not appropriate to deal with such transient effects. Instead, a time-dependent modelling approach is needed to predict the seal dynamic performance, e.g. followability. The required material key inputs are then an appropriate mathematical formulation of the viscoelastic behaviour combined with a reliable identification of the modelling input parameters.

Generally, this identification phase remains a time-consuming and user-dependent procedure. In practice, this process remains hardly repeatable, with clear technical complexity and, above all, with no error minimization involved in the determination of the modelling parameters. Its industrial application, as such, is thus seriously limited.

In this paper, a new tool, named “DynaMAT”, is described. It allows the quick automated and reliable analysis of frequency sweep data in order to model the complex viscoelastic response of rubber-like materials. The tool is involved in the material development and seal performance prediction research activities.

Das intrinsische, viskoelastische Verhalten von Dichtungsmaterialien bedingt eine starke Abhängigkeit ihrer Eigenschaften. Verlust- und Speichermodul hängen direkt von der Anregungsfrequenz und reziprok von der Temperatur ab. Wird dies vernachlässigt, können dynamische Effekte in Verbindung mit thermisch verursachten Änderungen der Elastomersteifigkeit zu unerwünschtem Betriebsverhalten oder gar zum Ausfall von Dichtungen führen. Quasistatische Simulationen, wie sie üblicherweise in Verbindung mit FEM und hyperelastischen Materialmodellen in der frühen Phase der Dichtungsentwicklung eingesetzt werden, sind nicht geeignet um diese transienten Effekt zu beschreiben. Vielmehr wird zur Modellierung ein zeitabhängiger Ansatz benötigt, um das Betriebsverhalten der Dichtung, wie z.B. deren Folgefähigkeit, zu beschreiben. Die benötigten Materialdaten sind in diesem Fall neben einer geeigneten mathematische Beschreibung des viskoelastischen Verhaltens eine zuverlässige Ermittlung der Modell-Eingangsgroßen. Diese Ermittlung ist meist zeitaufwendig und anwenderabhängig. Sie ist ferner nur bedingt reproduzierbar, technisch komplex und vor allem ist eine Fehlerminimierung nicht Teil bei der Bestimmung der Materialparameter. Ihr industrieller Einsatz ist daher stark begrenzt. In diesem Beitrag wird ein neues Werkzeug namens „DynaMAT“ vorgestellt. Es erlaubt die schnelle und zuverlässige Analyse von Daten aus Frequenzsweeps mit dem Ziel das komplexe, frequenzabhängige Materialverhalten von Elastomeren zu beschreiben. Dieses Werkzeug wird bei Forschungsarbeiten zur Materialentwicklung und Vorhersage des Betriebsverhaltens eingesetzt.