

# 19<sup>th</sup> ISC

Stuttgart, Germany  
Oct. 12 – 13, 2016



## International Sealing Conference *Internationale Dichtungstagung*

Eine Kooperation von



Fluidtechnik

19<sup>th</sup> ISC

**International Sealing Conference**  
***Internationale Dichtungstagung***

**Stuttgart, Germany**  
**Oct. 12 – 13, 2016**

Sealing Technology –  
Indispensable

*Dichtungstechnik –*  
*Unverzichtbar*

© 2016 VDMA Fluidtechnik

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

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

ISBN 978-3-8163-0684-9

Fachverband Fluidtechnik im VDMA e. V.

Lyoner Str. 18

50628 Frankfurt am Main

Germany

Phone +49 69 6603-1318

Fax +49 69 6603-2318

E-Mail [christian.geis@vdma.org](mailto:christian.geis@vdma.org)

Internet [www.vdma.org/fluid](http://www.vdma.org/fluid)

## **Einfluss supergefinisierter Dichtungsgegenauflflächen auf die Funktion von Radial-Wellendichtungen**

Markus Schulz, M.Sc., Dr.-Ing. Frank Bauer, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart,

### **1 Einleitung**

Die Dichtungsgegenauflfläche beeinflusst, neben dem Elastomer sowie der Geometrie von Radial-Wellendichtringen (RWDR), den Betriebsbedingungen und dem abzudichtenden Fluid, maßgeblich die Funktion und das Verhalten des tribologischen Systems Radial-Wellendichtung. Aufgrund von Kosten- und Zeitersparnissen werden in der Wellenproduktion an Stelle von Standardverfahren (Einstechschleifen mit rotierender Schleifscheibe) neuere, schnellere und kostengünstigere Fertigungsverfahren eingesetzt. Diese Fertigungsverfahren werden damit beworben drallfreie Oberflächen zu erzeugen und sollten somit in der Lage sein die in den Normen [1][2] geforderten Standardverfahren zu ersetzen. Allerdings kommt es mit Dichtungsgegenauflflächen, die so bearbeitet wurden, öfters zu Problemen mit Leckage oder erhöhtem Verschleiß.

Im Rahmen dieses Papers werden die Auswirkungen von supergefinissten (bandgeschliffenen) Dichtungsgegenauflflächen, welche umlaufende Strukturen aufweisen, auf die Funktion und den Verschleiß von RWDR dargestellt. Außerdem wird erklärt welche Untersuchungsmethoden und Rauheitskenngrößen geeignet sind, um supergefinishte Wellen als Dichtungsgegenauflfläche zu bewerten.

### **2 Das tribologische System Radial-Wellendichtung**

Das tribologische System Radial-Wellendichtung besteht aus drei Komponenten: dem Dichtelement, dem abzudichtenden Fluid sowie der Dichtungsgegenauflfläche, Figure 27.

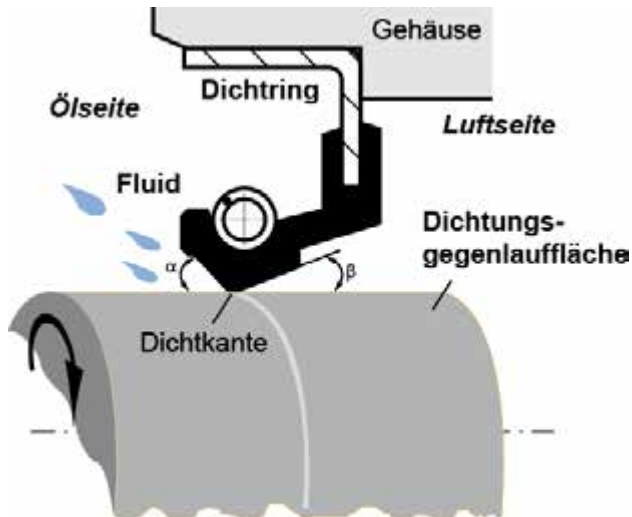
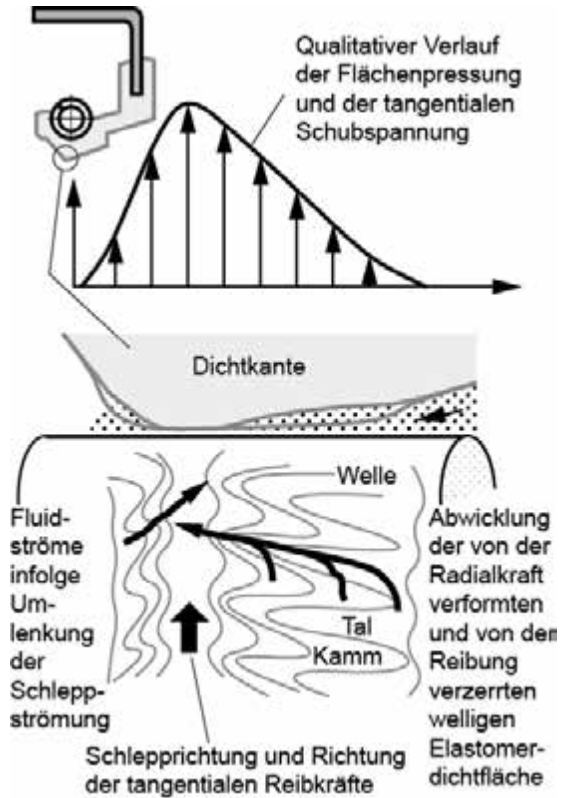


Figure 27: Tribologisches System Radial-Wellendichtring [3]

Bei der Betrachtung des tribologischen Systems sind, neben diesen Hauptbestandteilen, ferner die Einbausituation und die Betriebsbedingungen zu beachten. Durch gegenseitige Beeinflussung der Komponenten entstehen Wechselwirkungen, die dazu führen können, dass ein für das tribologische System kritischer Betriebszustand erreicht wird. Da sowohl das Dichtelement als auch das Fluid in den meisten Anwendungen fest vorgegeben (z.B. aufgrund von Ölverträglichkeitsversuchen) und als „Fertigprodukt“, an die jeweiligen Anforderungen angepasst, zugekauft werden, stellt die Dichtungsgegenläufigkeit die kritischste Komponente dar. Denn diese wird in den meisten Fällen im produzierenden Unternehmen oder von dessen Zulieferer gefertigt. Das Standard-Fertigungsverfahren zur Herstellung der Dichtungsgegenläufigkeit ist Schleifen im Einstich mit rotierender Schleifscheibe. Im Fertigungsprozess haben kleinste Veränderungen negative Auswirkungen auf die Qualität der Dichtungsgegenläufigkeit. Dennoch werden nach Baumann [3] häufig keine definierten Prozessparameter vorgegeben. Wird an Stelle des Standardverfahrens ein alternatives Fertigungsverfahren eingesetzt, besteht die Gefahr, dass durch die Fertigung Oberflächenstrukturen entstehen, die negative Auswirkungen auf das tribologische System haben.

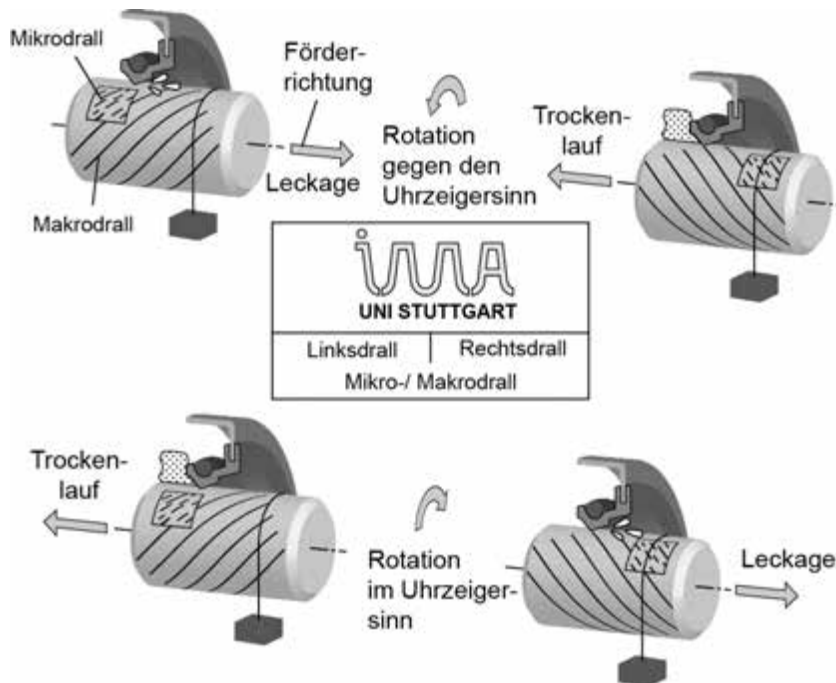
Im dynamischen Betrieb bildet sich bei einem Radial-Wellendichtring ein aktiver Rückfördermechanismus aus, der das Austreten des abdichtenden Fluids verhindert. Dieser pumpt während des Betriebs kontinuierlich Fluid von der Luftseite auf die Ölseite des Dichtungs zurück. Dieser Rückfördermechanismus kann durch unterschiedliche Hypothesen erklärt werden. Nach der Verzerrungshypothese entsteht aus der Asymmetrie der Kontaktflächenwinkel auch eine asymmetrische Verteilung der Flächenpressung. Diese führt dazu, dass axiale, wellenförmige Mikrostrukturen, welche während des Einlaufverschleiß entstehen, unter tangentialer Scherspannung elastisch verzerrt werden. Dadurch entstehen „Bergrücken und Täler“, die das mitgeschleppte Fluid axial umlenken, siehe Figure 28. Da die Strukturen auf der Luftseite deutlich länger als auf der Ölseite sind, ist die Pumpwirkung in Richtung Ölseite stärker.



**Figure 28: Fluidförderung nach der Verzerrungshypothese [4]**

In einem optimal gestalteten Dichtsystem besteht ein Gleichgewicht zwischen der zurückgeführten und in den Dichtspalt eintretenden Fluidmenge. Dieses Gleichgewicht führt zu einem hydrodynamisch geschmierten Dichtkontakt, wodurch günstige tribologische Bedingungen entstehen und gleichzeitig Leckage verhindert wird. Außerdem wird durch den Fluidtransport auch die Reibwärme besser abgeführt. Aus diesen Gründen ist der aktive Rückfördermechanismus entscheidend für die Funktion eines Radial-Wellendichtrings.

Allerdings können Dichtungsgegenläufigkeiten Strukturen (z.B. Drall) enthalten, die ebenfalls Fluid fördern. Dadurch kann zum einen, bei Förderrichtung der Welle in das System, Trockenlauf und dadurch erhöhter Verschleiß, zum anderen, bei Förderrichtung der Welle aus dem System, Leckage auftreten, siehe Figure 29. Die Abbildung verdeutlicht, dass das Auftreten von Leckage oder Trockenlauf von der Rotationsrichtung der Welle abhängig ist. Außerdem wird der Unterschied zwischen umlaufendem Makro- und Mikrodrall der einzelnen Schleifstrukturen dargestellt.



**Figure 29: Wirkung von Drall auf die Funktion des tribologischen Systems Radial-Wellendichtung**

Der Einfluss umlaufender, geschlossener Strukturen, die beispielsweise beim Superfinishen von Wellenoberflächen entstehen, auf den aktiven Rückfördermechanismus und somit die Funktion eines Radial-Wellendichtrings soll in diesem Paper untersucht werden.

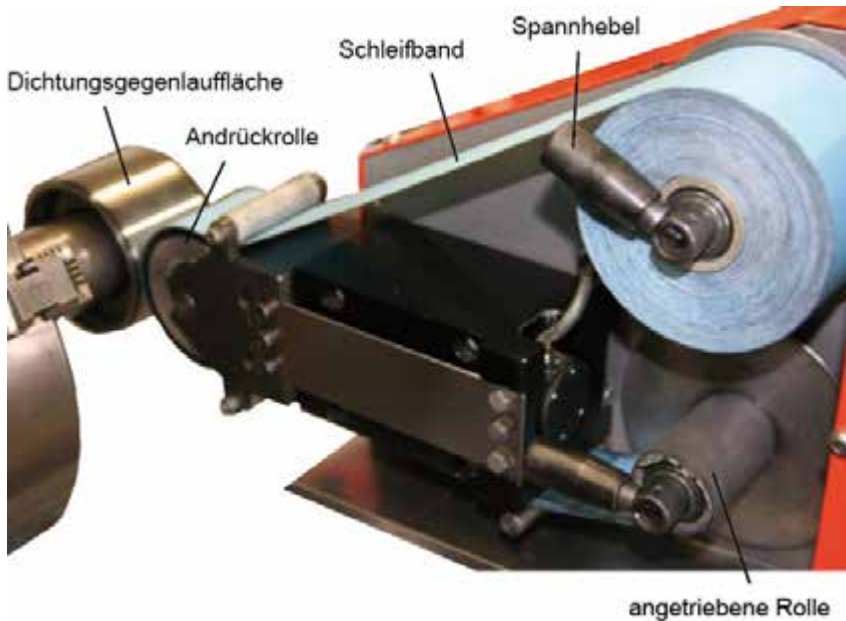
### 3 Experimentelles Vorgehen

Im Folgenden werden die Bearbeitung und Analyse der Dichtungsgegenläufigkeiten, die weiteren verwendeten Komponenten des tribologischen Systems und die unterschiedlichen Untersuchungsmethoden vorgestellt.

#### 3.1 Bearbeitung der Dichtungsgegenläufigkeiten

Zur Herstellung supergefinishter (bandgeschliffener) Dichtungsgegenläufigkeiten wurden die Oberflächen von gehärteten Hülsen aus 100Cr6 mit dem in Figure 30 abgebildeten Superfinish-Anbaugerät Supfina 210 bearbeitet. Das Anbaugerät lässt sich über den Werkzeughalter an einer Drehmaschine anbauen. Das Schleifband wird von der unteren, angetriebenen Rolle über die Andrückrolle geführt und dort mit einer vorgegebenen Kraft (max. 280 N) gegen die zu bearbeitende Oberfläche ge-

presst. Das Schleifband ist dabei nicht axial fixiert. Die Geschwindigkeit des Bandvorschubes lässt sich zwischen 0 und 10 cm/min frei einstellen. Dieser Vorschub sorgt dafür, dass sich immer neue Schleifkörner im Eingriff befinden. Die Bearbeitung erfolgte mit Schleifpapieren verschiedener Körnungen (180, 360, 500, 800 und 1200). Nach jeder Bearbeitungsstufe wurde eine Welle aus der Fertigung entnommen, wodurch am Ende fünf Wellen mit umlaufenden, geschlossenen Strukturen unterschiedlicher Rauheit entstanden.



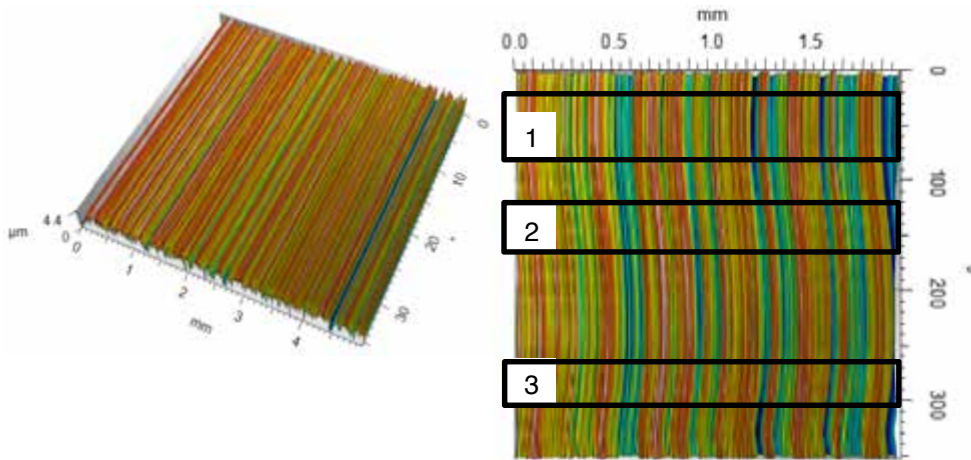
**Figure 30: Superfinish-Anbaugerät Supina 210**

### 3.2 Oberflächenanalyse der Dichtungsgegenauflflächen

Bei der Analyse der Dichtungsgegenauflflächen wurden die Rauheit und der Drall der Dichtungsgegenauflflächen untersucht. Die Drall-Untersuchung unterteilte sich dabei in die Auswertung des Makrodralls nach der CARMEN-Methode [5] sowie die Untersuchung des Mikrodralls nach der am Institut für Maschinenelemente der Universität Stuttgart entwickelten Mikrodrallanalyse [6].

Die CARMEN-Methode ermöglicht die Messung von umlaufendem periodischem Makrodrall und basiert auf 72 taktilen Messschrieben, die über den Umfang (oder einen 36° Abschnitt) verteilt achsparallel in 5° (oder 0,5°) Abständen gemessen werden. Aus diesen Messdaten werden die Drall-Kenngrößen (Drallwinkel, Dralltiefe, Periodenlänge, Gängigkeit, ...) nach der Daimler Werksnorm MBN31007-7 bestimmt. In Figure 31 links ist exemplarisch die aus den einzelnen Messschrieben zusammengesetzten Pseudo-Oberflächentopografie einer gefinishten Dichtungsgegenauflfläche dargestellt. Diese zeigt, dass die aufgetragenen Strukturen über den Umfang umlaufend und geschlossen sind.





**Figure 31: Pseudo-Oberflächentopografie einer Dichtungsgegenlauffläche über 36° (links) und 360° (rechts), U3**

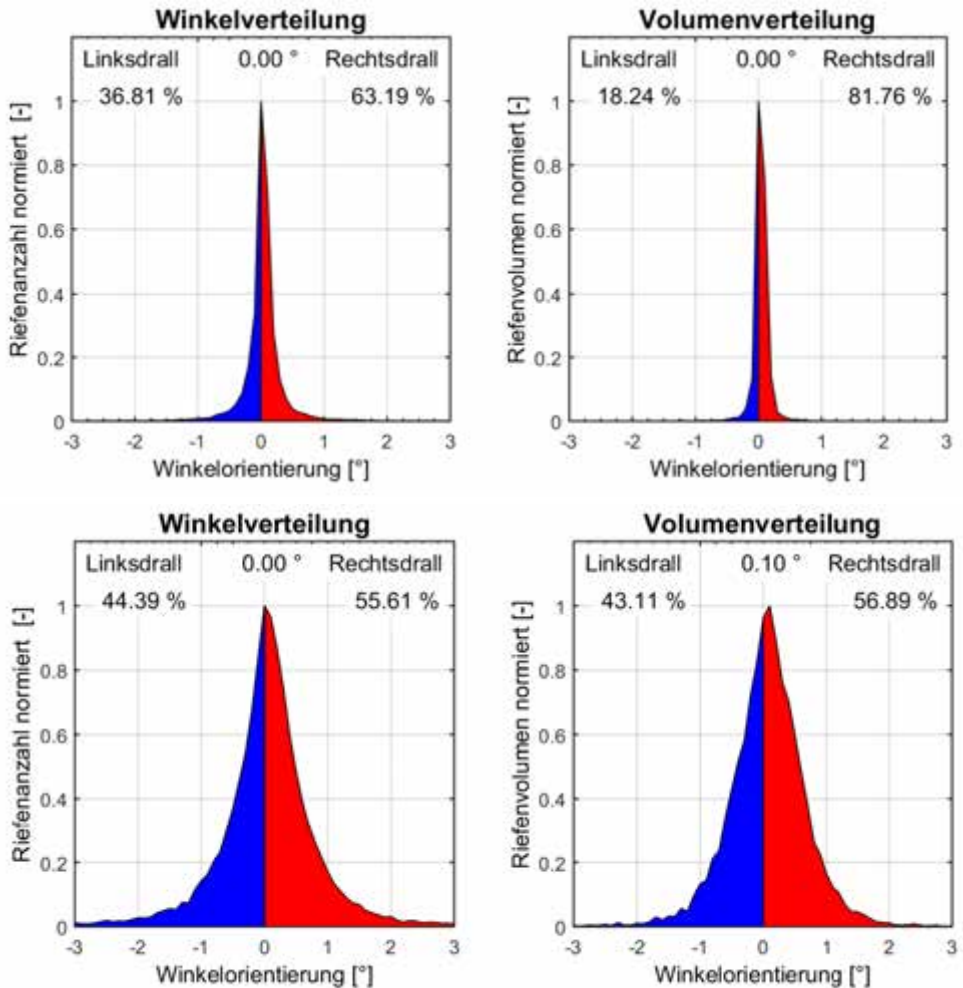
Die Werte der Makrodrall-Kenngrößen für die supergefinishten Wellen und eine im Einstich geschliffene Referenzwelle sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Aus diesen Kenngrößen geht hervor, dass alle eingesetzten Wellen keinen gerichteten Makrodrall aufweisen. Wie in Figure 31 rechts deutlich zu erkennen ist, verlaufen die geschlossenen Riefen allerdings nicht gerade um, sondern wandern leicht in axialer Richtung. Diese Verschiebungen bestehen aus Abschnitten, die Rechts- (Nr. 2) und Linksdrall (Nr. 3) aufweisen sowie aus drallfreien Abschnitten (Nr. 1). Zeigt die Drallauswertung dennoch eine Gängigkeit von null, ist von so genanntem Nulldrall die Rede. Die axialen Abweichungen können zum einen durch das im vorhergehenden Abschnitt beschriebene axiale Spiel des Schleifbandes und aber durch eine während der Bearbeitung schräg oder exzentrisch aufgespannte Welle entstehen.

**Tabelle 4: Makrodrall-Kenngrößen der eingesetzten Dichtungsgegenlaufflächen**

	U1	U2	U3	U4	U5	Referenzwelle
Drallwinkel [°]	0	0	0	0	0	0
Dralltiefe [ $\mu\text{m}$ ]	1,13	1,14	0,41	0,39	0,32	0,08
Periodenlänge [mm]	0,21	0,35	0,24	0,25	0,36	0,27
Gängigkeit	0	0	0	0	0	0

Die Mikrodrallanalyse ist ein Berechnungsverfahren, welches optische Messdaten auswertet. Die dazu benötigten 3D-Oberflächentopografien der Dichtungsgegenlaufflächen werden mit Hilfe eines Weißlichtinterferometers aufgenommen. Diese werden anschließend gefiltert, separiert und statistisch ausgewertet. Auf diese Weise wird die Größe, Lage, Winklorientierung und das Volumen der einzelnen

Schleifriefen bestimmt. Ausgehend von diesen Messgrößen können Winkel- und Volumenverteilungskurven erzeugt werden. Diese zeigen ob auf der Dichtungsgegenlauffläche Mikrodrall vorhanden ist. Oberflächen ohne Mikrodrall weisen dabei eine möglichst symmetrische Verteilung der links- und rechts gerichteten Strukturen mit einem Maxima bei  $0^\circ$  (Umfangsrichtung) auf. In Figure 32 sind die Winkel- und Volumenverteilungen einer supergefinishten und der im Einstich geschliffenen Referenz-Dichtungsgegenlauffläche gegenübergestellt. Die Verteilungen der supergefinishten Oberflächen sind deutlich schmaler als die der im Einstich geschliffenen Oberfläche. Die Maxima aller Verteilungskurven der supergefinishten Wellen liegen bei  $0^\circ$  oder  $0,1^\circ$ . Die Abweichung von  $0,1^\circ$  ist dabei auf die Genauigkeit der Darstellung der Verteilungskurven zurückzuführen, da diese in  $0,1^\circ$  Schritten dargestellt werden. Somit zeigt die Mikrodrallanalyse, dass die supergefinishten Wellen umlaufende Oberflächenstrukturen und keinen Mikrodrall aufweisen. Die im Einstich mit rotierender Schleifscheibe geschliffene Referenz-Dichtungsgegenlauffläche zeigt einen leichten Rechtsdrall.



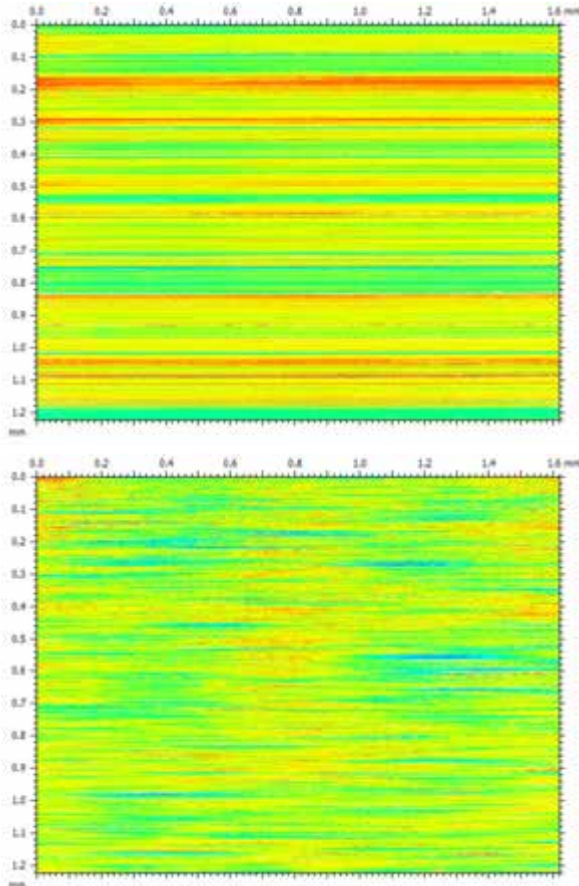
**Figure 32: Vergleich der Winkel- und Volumenverteilungen zwischen supergefeinishter (oben) und im Einstich geschliffener (unten) Dichtungsgegenläufigen**

In Tabelle 5 sind unterschiedliche Rauheits-Kenngrößen der untersuchten Dichtungsgegenläufigen aufgeführt. Die Werte der Rauheitskenngrößen decken den größten Teil des in der Norm für Radial-Wellendichtringe vorgegebenen Bereichs ( $R_a = 0,2 - 0,8 \mu\text{m}$ ,  $R_z = 1 - 5 \mu\text{m}$  und  $R_{\text{max}} = 6,3 \mu\text{m}$  [1]) ab.

**Tabelle 5: Rauheitskenngrößen der eingesetzten Dichtungsgegenläufigen**

	U1	U2	U3	U4	U5	Referenz- welle
Arithmetischer Mit- tenrauwert $R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	1,0	0,66	0,44	0,31	0,28	0,32
Gemittelte Rautiefe $R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	6,81	4,39	3,29	2,47	2,16	2,75
Maximale Einzelrau- tiefe $R_{\text{max}}$ [ $\mu\text{m}$ ]	8,0	5,57	3,84	3,1	2,66	3,26
Rautiefe $R_t$ [ $\mu\text{m}$ ]	8,3	5,82	4,05	3,4	2,77	3,49

Die visuelle Untersuchung der gefinishten und im Einstich geschliffenen Dichtungsgegenläufigen zeigt, dass die geschliffene Oberfläche doppelt-konvergent zulaufende Riefen enthält. Die supergefinishten Dichtungsgegenläufigen enthalten hingegen gleichmäßig tiefe, umlaufende Strukturen (siehe Figure 33).



**Figure 33: Supergefinishte (oben) und geschliffene (unten) Dichtungsgegenläufigen**

### 3.3 Verwendetes Öl und eingesetzte Radial-Wellendichtringe

Für alle Untersuchungen wurde das hochtemperaturbeständige, vollsynthetische Motoröl Fuchs Titan SuperSyn SL SAE 0W-30 verwendet. Der Ölstand reichte bei allen Versuchen bis zur Wellenmitte. Die wichtigsten Kennwerte des Öls sind in Tabelle 6 angegeben.

**Tabelle 6: Ölkenwerte**

Viskositätsklasse	SAE 0W-30
Dichte $\rho$	850 kg/m <sup>3</sup>
Kinematische Viskosität $\nu$ bei 40 °C	67 mm <sup>2</sup> /s

Die eingesetzten Radial-Wellendichtringe der Bauform A sind aus dem Werkstoff Nitril-Butadien-Kautschuk.

### 3.4 Dauerlaufuntersuchungen

Die Dauerlaufuntersuchungen mit der Analyse der Dichtkante und der Leckage stellen die Grundlage der Untersuchungen dar. Diese wurden am in Figure 34 dargestellten Dauerlaufprüfstand durchgeführt. Jedes Einzelmodul (siehe Figure 34 links) besteht aus zwei Kammern, wodurch in einem Prüflauf gleichzeitig in beiden Drehrichtungen ein Versuch durchgeführt werden kann. Die zu untersuchenden Dichtungsgegenläufigen werden über eine HSK-Schnittstelle und eine HSK-Spannzange mit der Spindel verbunden.



**Figure 34: Dauerlaufprüfstand**

Die Untersuchungen dauerten 96 Stunden bei einer Ölsumpftemperatur von 60 °C, einer Umfangsgeschwindigkeit von 5 m/s und Atmosphärendruck. Der Ölstand in der Ölkammer befand sich auf Höhe der Wellenmitte. Diese Versuchsparameter wurden nach dem öffentlich geförderten Projekt Lastkollektive I festgelegt [7].

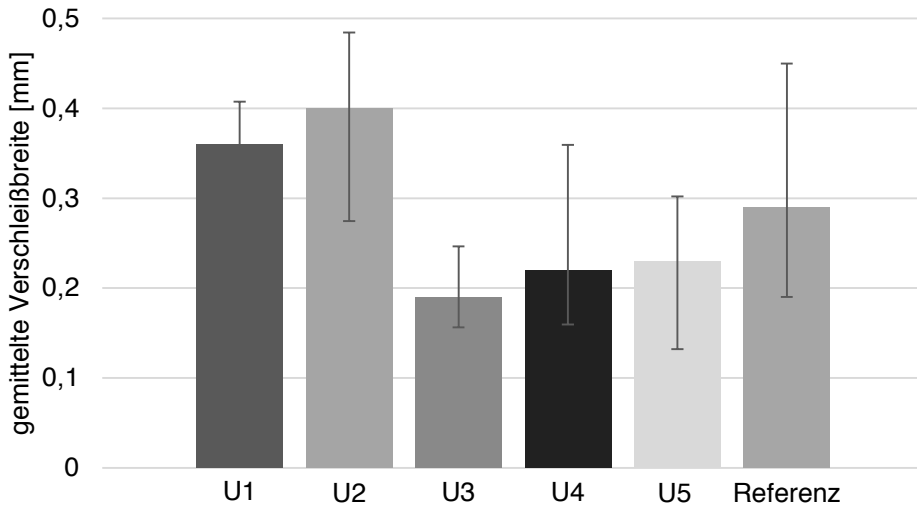
Die Auswertung der Untersuchungen unterteilt sich in die Leckage- und Verschleißmessung sowie eine visuelle Analyse der verschlissenen Dichtkanten. Die Messung der Verschleißbreiten erfolgt mit Hilfe eines digitalen Auflichtmikroskops und einer Vorrichtung zur Ausrichtung der Dichtkante. Die im Folgenden aufgeführten Verschleißwerte stellen den Mittelwert aus 16 Verschleißbreiten, die gleichmäßig über den Umfang verteilt gemessen wurden, dar.

## **4 Ergebnisse und Diskussion**

Im Folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Dauerlaufuntersuchungen vorgestellt. Außerdem wird der Zusammenhang zwischen diesen Ergebnissen und der Oberflächenanalyse der Dichtungsgegenläufigen erläutert.

### **4.1 Dauerlaufuntersuchungen**

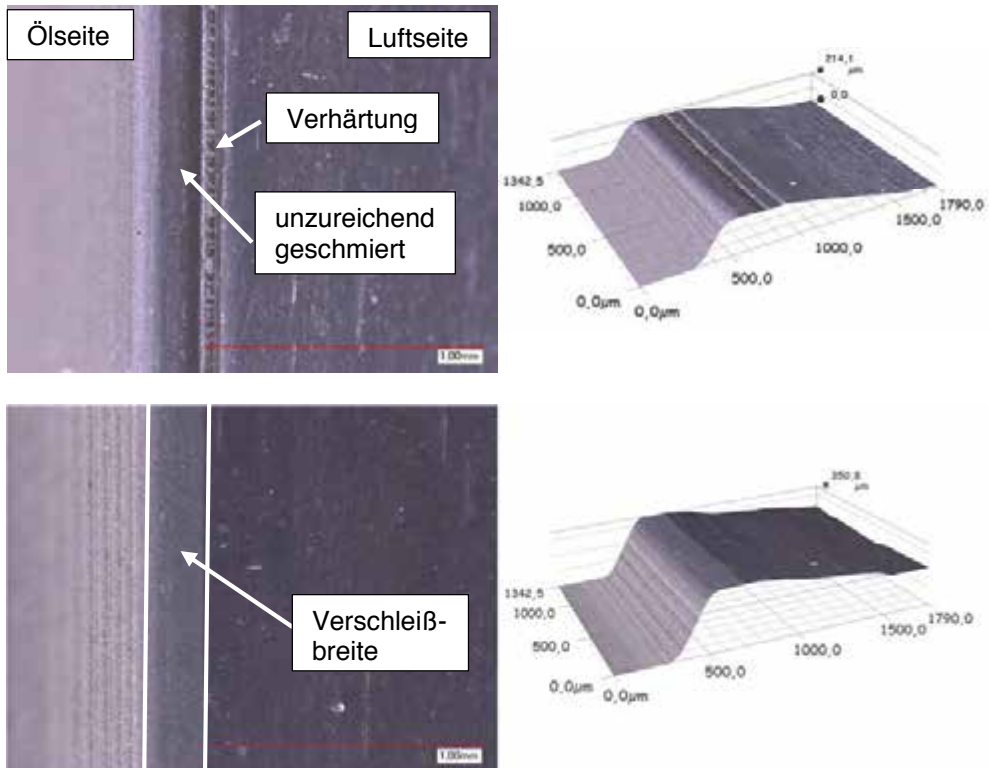
Alle untersuchten Dichtsysteme waren über die gesamte Untersuchungsdauer von 96 Stunden dicht. Die ermittelten Verschleißbreiten der Dichtkanten sind in Figure 35 dargestellt. Die beiden Dichtsysteme mit den rauesten supergefinissten Dichtungsgegenläufigen (U1 und U2) zeigen eine größere gemittelte Verschleißbreite als das Referenz-Dichtsystem mit der im Einstich geschliffenen Dichtungsgegenläufigen. Die drei weiteren Dichtsysteme weisen etwas geringere Verschleißbreiten als das Referenz-Dichtsystem auf. Wichtig zur Beurteilung der Verschleißbreiten ist dabei, dass die mit Rechtsdrall behaftete Referenz-Welle gegen den Uhrzeigersinn rotierte. Demnach förderte die Gegenläufigen nach Figure 29 in das Dichtsystem hinein und die Dichtkante lief partiell nicht in Vollschmierung. Dementsprechend ist die mit dem Referenz-Dichtsystem erzielte Verschleißbreite als bereits kritisch zu bewerten. Die Verschleißbreiten aller untersuchten Radial-Wellendichtringe schwanken über den Umfang.



**Figure 35: Verschleißbreiten der Dichtkanten**

Aus diesen Messwerten können jedoch nur bedingt Rückschlüsse auf das Verschleißverhalten der Dichtkanten geschlossen werden. Ursache hierfür ist, dass die Dichtkanten, die auf einer supergefinishten Dichtungsgegenlauffläche im Einsatz waren, zum Teil starke Verhärtungen aufweisen (siehe Figure 36). Diese Verhärtungen führen dazu, dass die Verschleißbreiten langsamer zunehmen oder konstant bleiben. Im Bereich der Verhärtungen entstehen neben umfangsgerichteten auch axiale Risse. Diese Kombination aus Verhärtung und Rissen führt bei längeren Einsatzdauern zum unvorhergesehenen, plötzlichen Versagen der Dichtungen. Neben den Rissen im verhärteten Elastomer sind auch im nicht verhärteten Elastomer deutlich Bereiche unterschiedlicher Schmierzustände zu erkennen. Bereiche mit unzureichender Schmierung sind auf Grund höherer Temperaturen stark verfärbt, siehe Figure 37. Im Gegensatz dazu zeigt die Dichtkante des Referenz-Dichtsystems ein gleichmäßiges, völlig unauffälliges Verschleißbild.





**Figure 36: 2D- und 3D-Bilder der Dichtkanten bei supergefinishten (oben) und im Einstich geschliffenen (unten) Dichtungsgegenläufigen**

Die in Figure 37 dargestellten Temperaturen auf der Luftseite der Dichtkante wurden mit einer Thermographie-Kamera ( $\epsilon = 0,95$ ) gemessen. Der Temperaturverlauf zeigt, dass bei den Dichtsystemen mit einer supergefinishten Dichtungsgegenläufigen die Temperaturen bis zu 10 K höher sind als beim Referenz-Dichtsystem. Diese Messwerte verdeutlichen, dass der Kontaktbereich bei supergefinishten Dichtungsgegenläufigen nicht ausreichend mit Öl versorgt wird. Als Ursache hierfür liegt die Vermutung nahe, dass der aktive Rückfördermechanismus des Radial-Welldichtungsringes durch die umlaufenden, geschlossenen Strukturen gestört und dadurch der Fluidaustausch und die Wärmeabfuhr an der Dichtkante behindert werden.

Auf Grund der tribologischen Bedingungen im Dichtspalt bilden sich bei den rauen supergefinishten Dichtungsgegenläufigen, trotz der Verwendung eines hochtemperaturbeständigen Öls, starke Ablagerungen im Kontaktbereich, siehe Figure 38. Die Ablagerungen zeigen im Rauheitsschrieb eine starke Erhöhung und können zur Undichtheit des Dichtsystems führen. Die Laufspuren ohne Ablagerungen zeigen keine Auffälligkeiten und sind weder taktil noch visuell sicher zu erfassen.

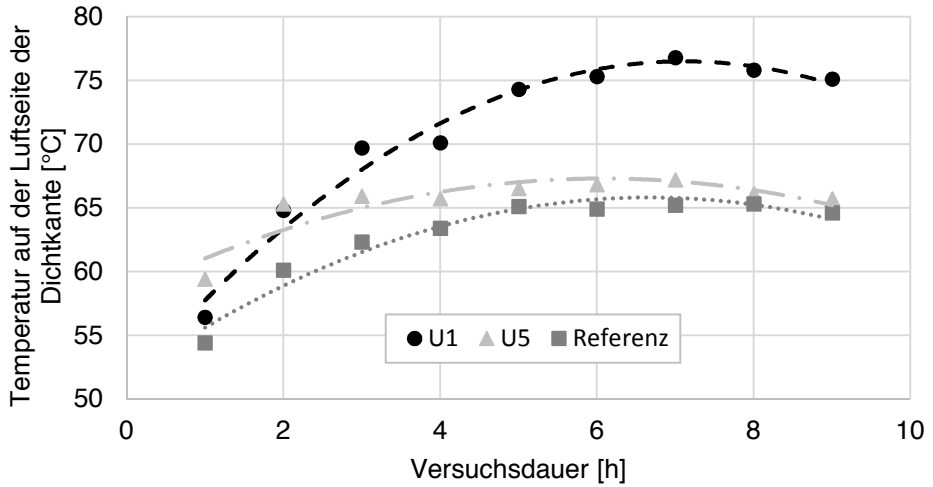


Figure 37: Temperaturverlauf während den ersten 9 Versuchsstunden

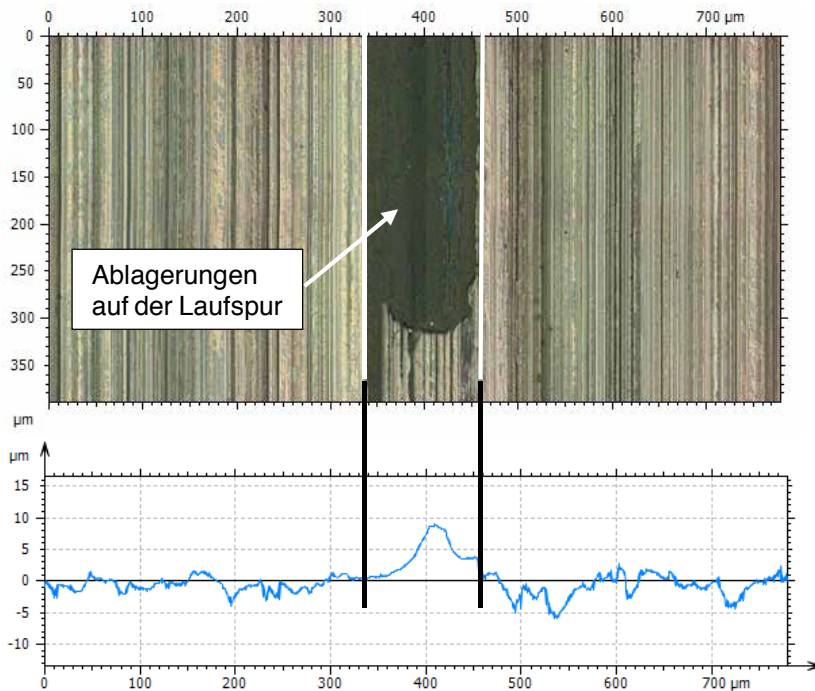
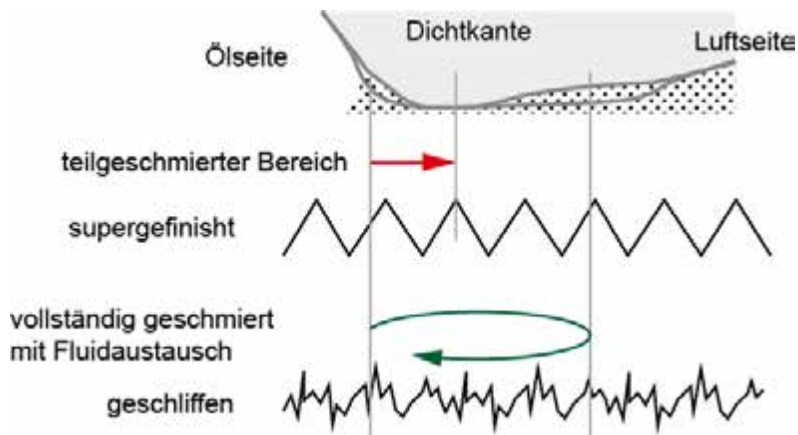


Figure 38: Laufspur mit Ablagerungen

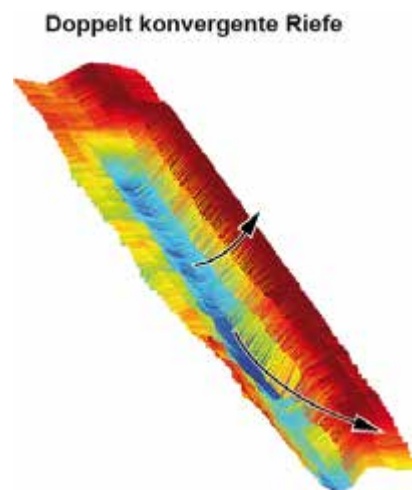
## 4.2 Diskussion der Ergebnisse

Die thermisch bedingten, verfärbten Abschnitte der Dichtkante bei einer Dichtungsgegenläufigkeit mit umlaufenden Riefen entstehen durch unzureichende Schmierung im luftseitigen Dichtkantenbereich. Die Ursache hierfür ist, dass der Fluidaustausch, wie in Figure 39 dargestellt, durch die umlaufenden, geschlossenen Riefen behindert wird. Dadurch findet ausschließlich im ölseitigen Bereich der Dichtkante ein Fluidaustausch und somit Vollschrnerung statt, während im luftseitigen Bereich der Dichtkante Mangelschrnerung herrscht. Im Gegensatz dazu findet bei einer im Einstich geschliffenen Dichtungsgegenläufigkeit der Fluidaustausch im kompletten Dichtkantenbereich statt. Dieser Fluidaustausch führt Reibwärme von der Dichtkante ab und sorgt für eine ausreichende Schrnerung der Dichtkante.



**Figure 39: Schmierungszustände der Dichtkante**

Die Funktion eines Radial-Wellendichtrings beruht, wie bereits in Abschnitt 2 vorgestellt, auf einem aktiven Rückfördermechanismus. Dieser kann durch verschiedene Förderhypothesen erklärt werden. Ein hydrodynamischer Druck kann sich im Fluid allerdings nicht nur an Rauheitserhebungen der Dichtkante bilden, sondern auch an Oberflächenstrukturen der Dichtungsgegenläufigkeiten. Während eine im Einstich geschliffene Oberfläche doppelt konvergente Riefen, d.h. Riefen mit variierender Tiefe und Breite, enthält (siehe Figure 40), sind die Strukturen der supergefinishten Dichtungsgegenläufigkeiten über den gesamten Wellenumfang sowohl in der Tiefe als auch der Breite nahezu konstant.



**Figure 40: Doppelt konvergente Riefe einer im Einstich geschliff-**

Dadurch baut sich bei einer im Einstich geschliffenen Dichtungsgegenlauffläche durch das mitgeschleppte Öl ein Druck im Schmierfilm auf, der die Dichtkante von der Welle abheben lässt. Auf diese Weise bildet sich ein elasto-hydrodynamischer Dichtspalt. Dieser trennt die Dichtkante von der Gegenlauffläche und sorgt somit für einen gut geschmierten Berührbereich. Die Schmierung sorgt dafür, dass die Temperatur im Dichtspalt geringer bleibt und deutlich weniger Verschleiß auftritt.

Bei den Dichtungsgegenlaufflächen mit umlaufenden Riefen wird das Fluid ohne Druckaufbau und Fluidaustausch lediglich um die Welle geschleppt. Daraus resultiert eine höhere Temperatur in der Nähe der Dichtkante, ein höheres verursachtes Reibmoment sowie erhöhter Verschleiß und Verkokung des Öls.

## **5 Zusammenfassung und Ausblick**

Die Oberflächenanalyse der Dichtungsgegenlaufflächen zeigt, dass durch das Superfinishen drallfreie Oberflächen erzeugt werden können. Allerdings ist die Drallfreiheit nicht gewährleistet, da bei der Bearbeitung auch partiell schräg gerichtete Strukturen entstehen können. Außerdem kann die Drallfreiheit nicht als alleiniges Kriterium zur Eignung als Dichtungsgegenlauffläche verwendet werden. Die Verwendung supergefinishter Dichtungsgegenlaufflächen führt bei den durchgeführten Untersuchungen zu deutlichen Beschädigungen der Dichtkante.

Dabei ist zu beachten, dass die für die Untersuchungen gewählten Parameter nicht als kritische Parameter zu sehen sind. Um den Einfluss der Umfangsgeschwindigkeit und der Temperatur auf das Dicht- und Verschleißverhalten zu ermitteln, werden weitere umfassende Untersuchungen durchgeführt. Ergänzend soll in Dauerlaufversuchen festgestellt werden, wie lange die Beschädigung der Dichtkante voranschreiten kann, bis der Radial-Wellendichtring versagt. Außerdem wird der Einfluss der umlaufenden Riefen auf das Reibmoment überprüft. Als weitere Untersuchungen sind Förderwertmessungen geplant, diese sollen darüber Auskunft geben, ob die umlaufenden Riefen tatsächlich den Fluidaustausch im Dichtspalt verschlechtern. Die Analyse der Strömungsvorgänge im Dichtspalt erfolgt an einer supergefinishten Glashohlwelle. Auf diese Weise wird die in diesem Paper vorgestellte Theorie visuell überprüft. Um den Werkstoffeinfluss ausschließen zu können sind außerdem Versuche mit Radial-Wellendichtringen aus Fluorkautschuk (FKM) und PTFE-Manschetendichtungen vorgesehen. Geplant ist darüber hinaus die Erweiterung der Untersuchungen auf supergefinishte Dichtungsgegenlaufflächen mit gekreuzten Strukturen. Die geplanten Untersuchungen sollen zeigen, inwiefern sich umlaufende und doppelt konvergente Riefen auf die Funktion und den Verschleiß von Radial-Wellendichtungen auswirken.

## **6 Literaturhinweise**

- [1] DIN 3760:1996-09, Radial-Wellendichtringe
- [2] DIN 3761-2:1983-11, Radial-Wellendichtringe für Kraftfahrzeuge: Anwendungshinweise

- [3] Baumann, M.; Bauer, F.; Haas, W.: Messung, Analyse und Bewertung von Dichtungsgegenläufigkeiten für das Tribo-System Radial-Wellendichtung; 18th ISC, Stuttgart, 8.-9. Oktober 2014; Fachverband Fluidtechnik im VDMA e.V., 2014, S. 627 – 639, ISBN: 978-3-00-046879-7
- [4] Müller, H. K.: Abdichtung bewegter Maschinenteile: Funktion – Gestaltung – Berechnung – Anwendung; Medienverlag Müller, 1990, ISBN: 3-920484-00-2
- [5] Daimler AG: Werksnorm MBN 31 007-7, Oberflächenbeschaffenheit: Mess- und Auswerteverfahren zur Bewertung von drallreduzierten dynamischen Dichtflächen, Stuttgart, 2008
- [6] Baitinger, G.: Multiskalenansatz mit Mikrostrukturanalyse zur Drallbeurteilung von Dichtungsgegenläufigkeiten, Dissertation, Institut für Maschinenelemente, Universität Stuttgart, 2011
- [7] Forschungsvereinigung Antriebstechnik: Gestaltung von Lastkollektiven zur Prüfung von Radial-Wellendichtungen, FVA-Nr. 696, IGF-Nr. 17580 N/1