

Wissenschaftliche Charakterisierung von Stangen-/ Wellenoberflächen und Wissenstransfer

Dr.-Ing. Frank Bauer

Universität Stuttgart
Institut für Maschinenelemente
Pfaffenwaldring 9
70569 Stuttgart
Tel.: +49 711 685-66662
Fax: +49 711 685-66319
E-mail: bauer@ima.uni-stuttgart.de
www: <http://www.ima.uni-stuttgart.de>

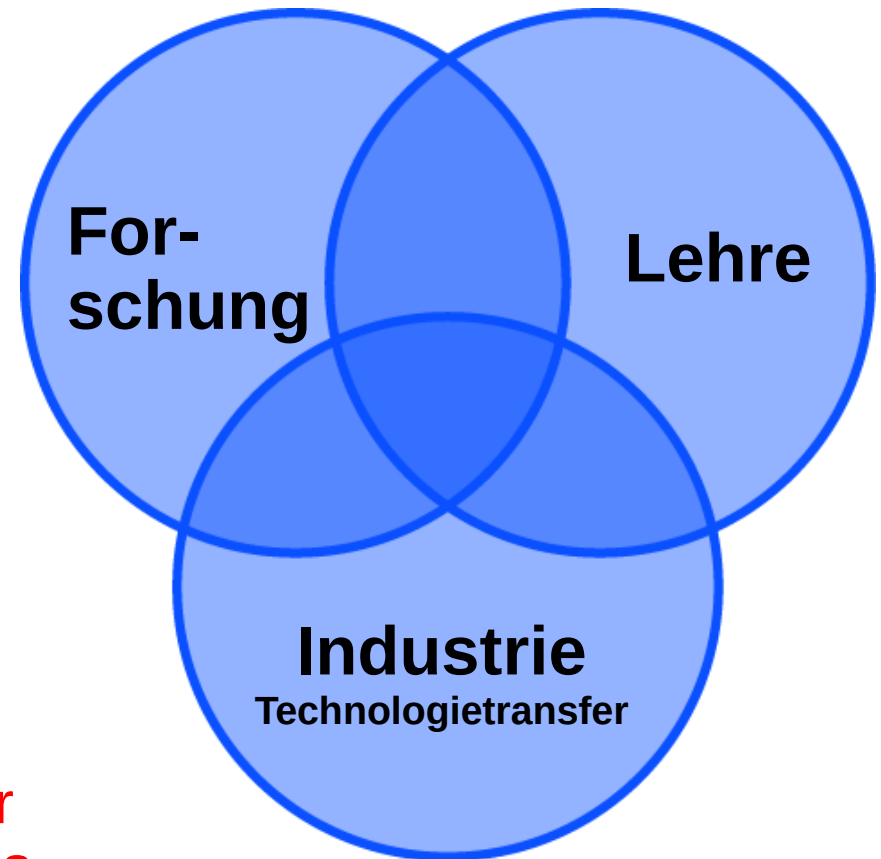
Weitere Informationen zum Thema: www.ima.uni-stuttgart.de

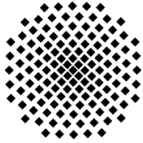
- Institut
- Überblick Dichtungstechnik und tribologisches System
- Untersuchungseinrichtungen
- Charakterisierung von Wellenoberflächen
- Forschung und Wissenstransfer



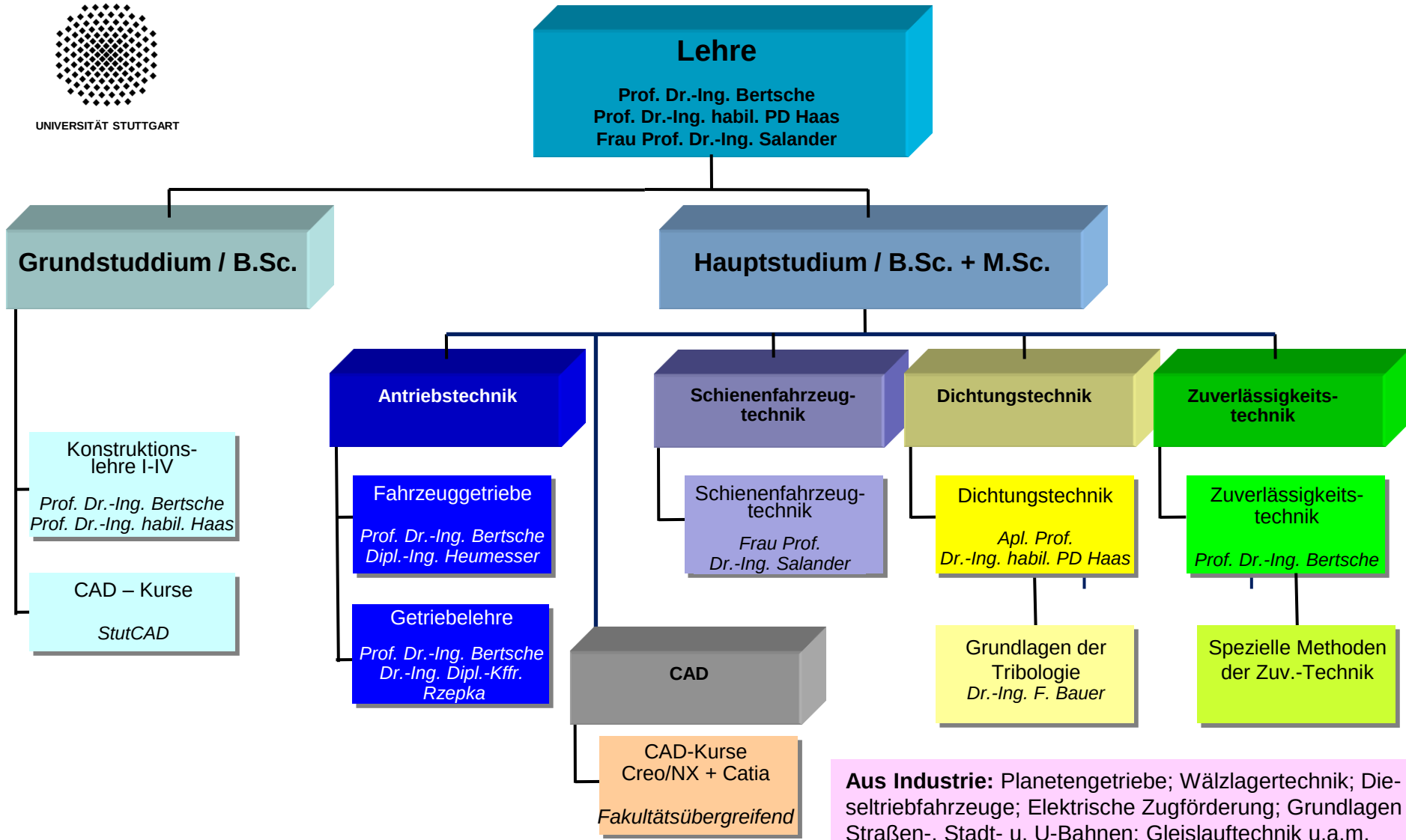
Institut für Maschinenelemente
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 9
70569 Stuttgart

o. Prof. Dr.-Ing. Bernd Bertsche
Prof. Dr.-Ing. Corinna Salander
Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas
Dr.-Ing. Frank Bauer



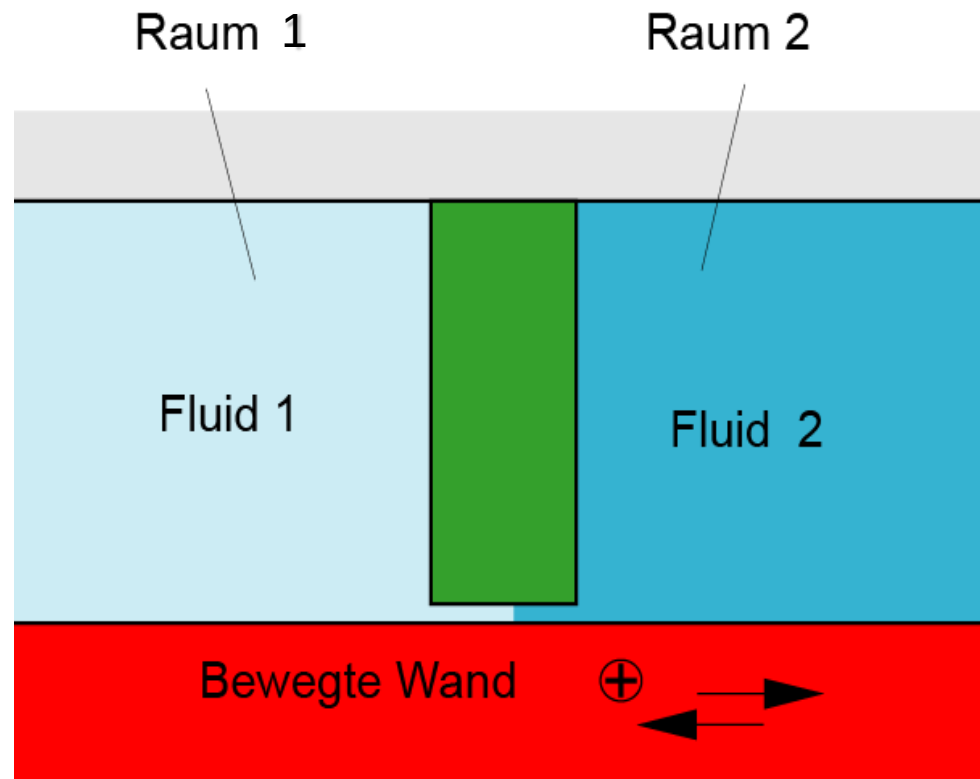


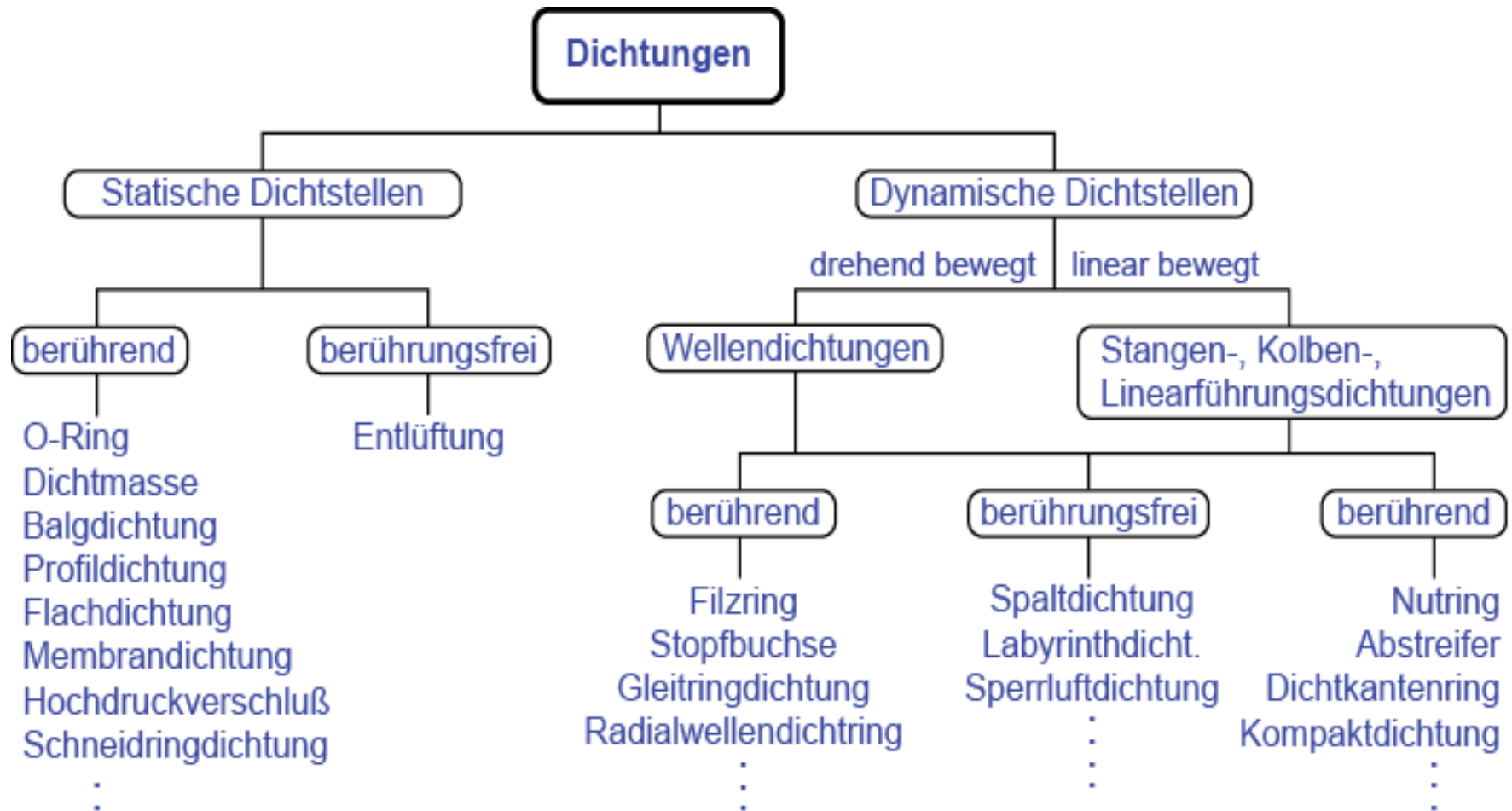
UNIVERSITÄT STUTTGART

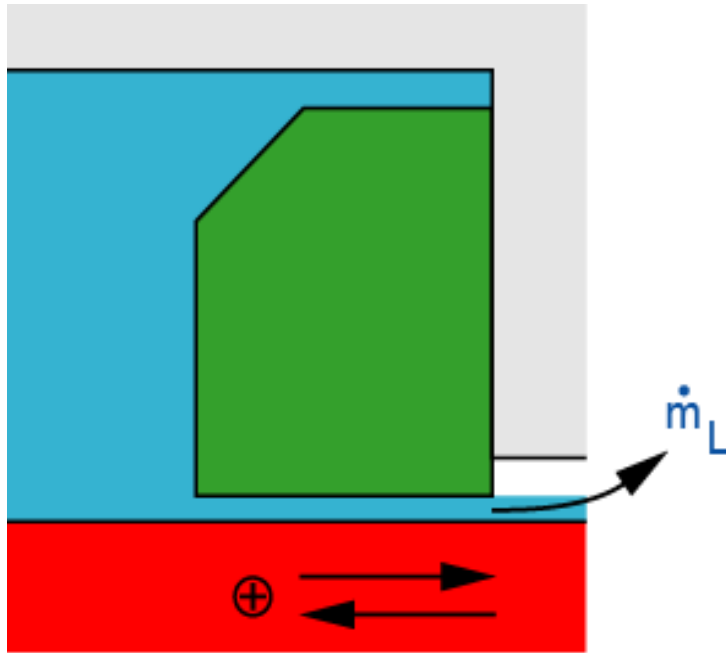


- Institut
- Überblick Dichtungstechnik und tribologisches System
- Untersuchungseinrichtungen
- Charakterisierung von Wellenoberflächen
- Forschung und Wissenstransfer

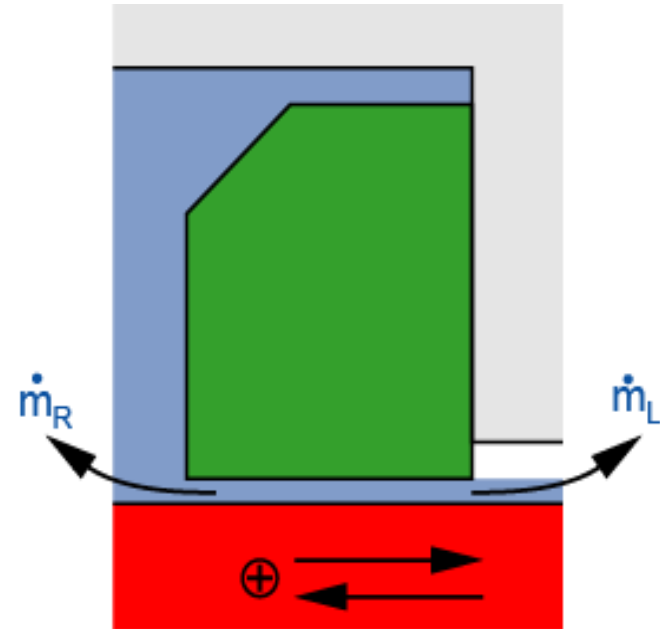
Zwischen zwei Räumen, die eine gemeinsame, **bewegte** Wand aufweisen, ist der Austausch von Fluid (Flüssigkeit, Gas, Feststoff) zu verhindern.





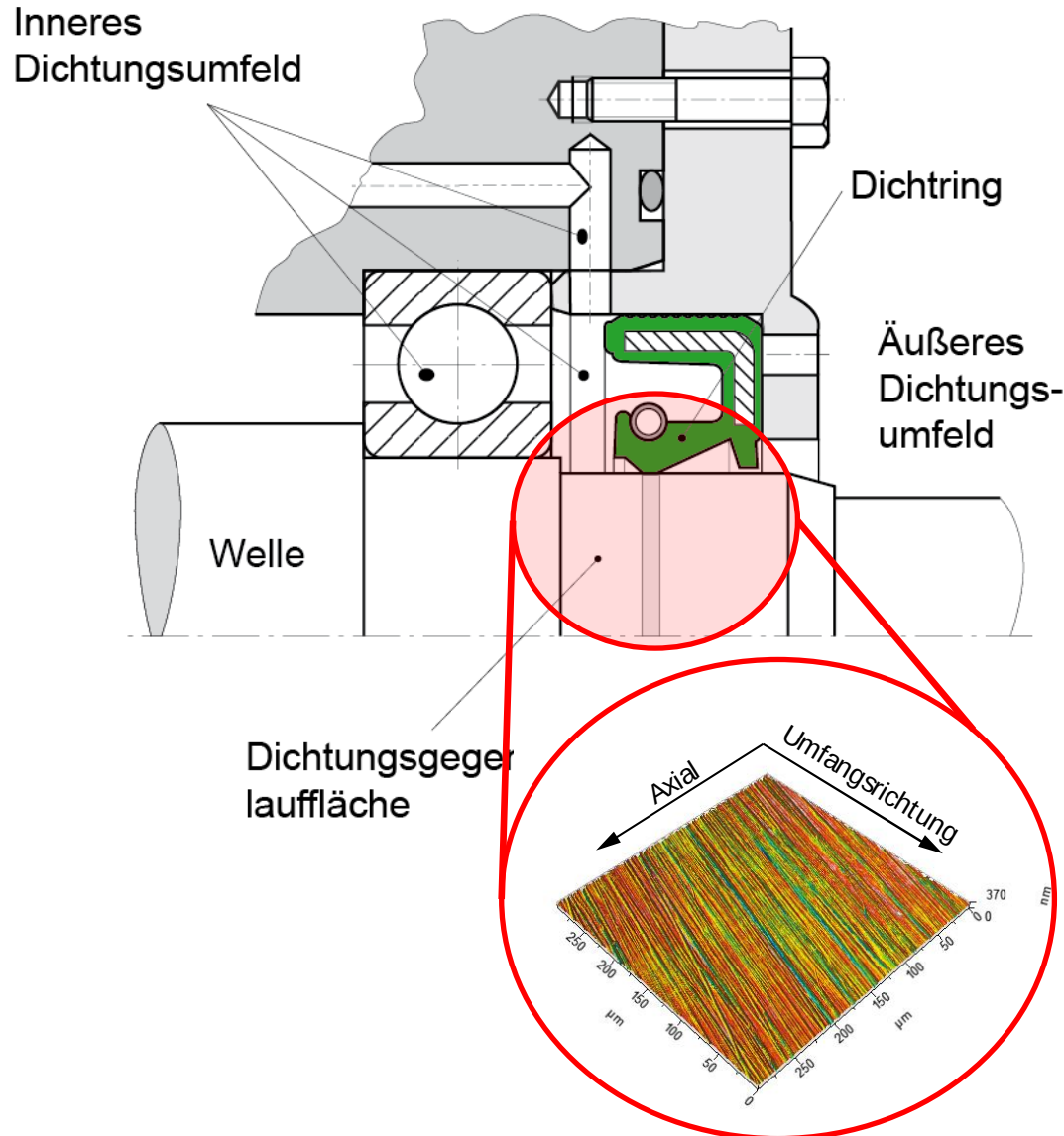


Passive Abdichtung:
Strömungsdrossel
mit Leckstrom $\dot{m}_L$



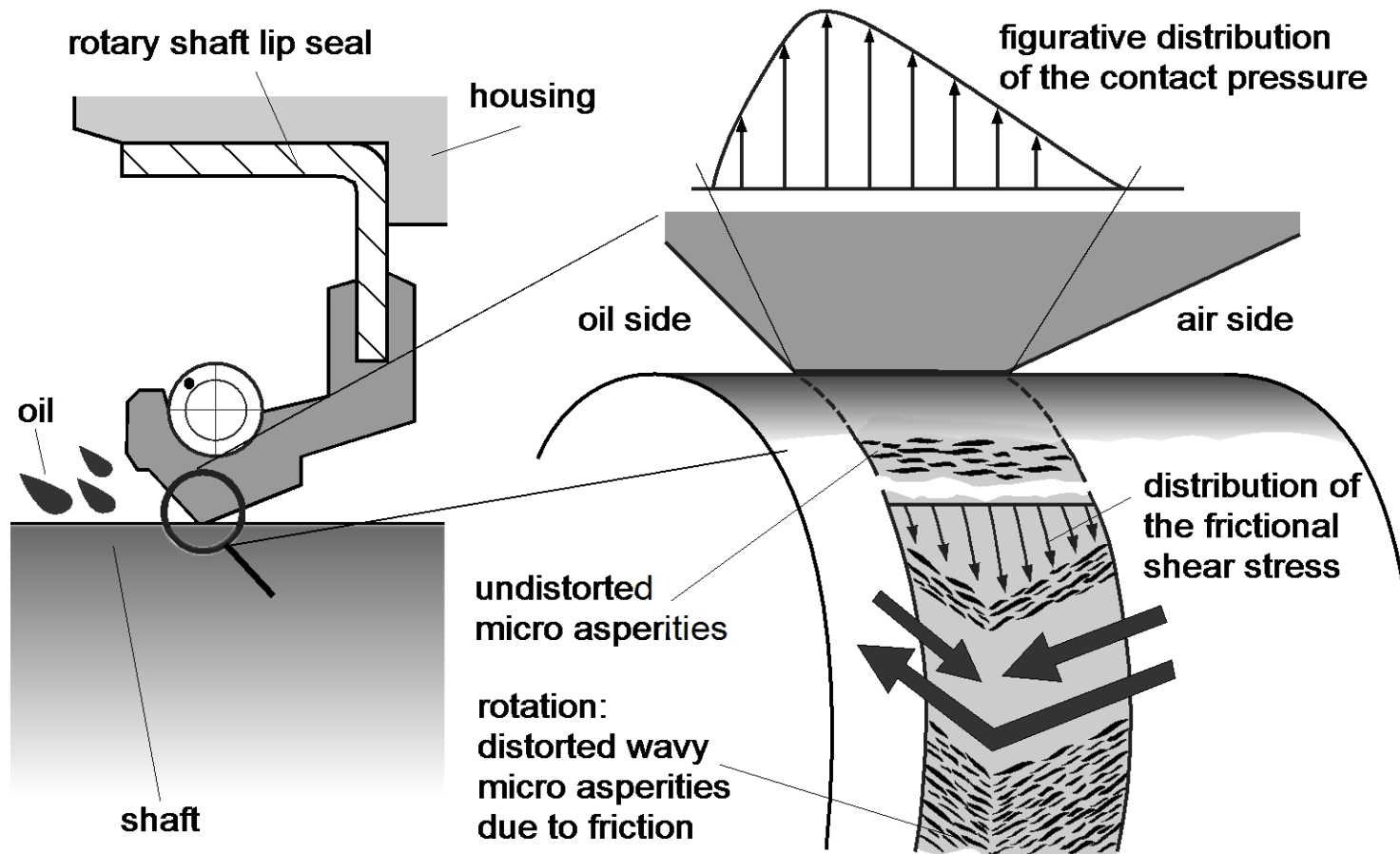
Aktive Abdichtung :
Rückförderstrom $\dot{m}_R$
kompensiert Leckstrom $\dot{m}_L$

Das tribologische System Radial-Wellendichtung

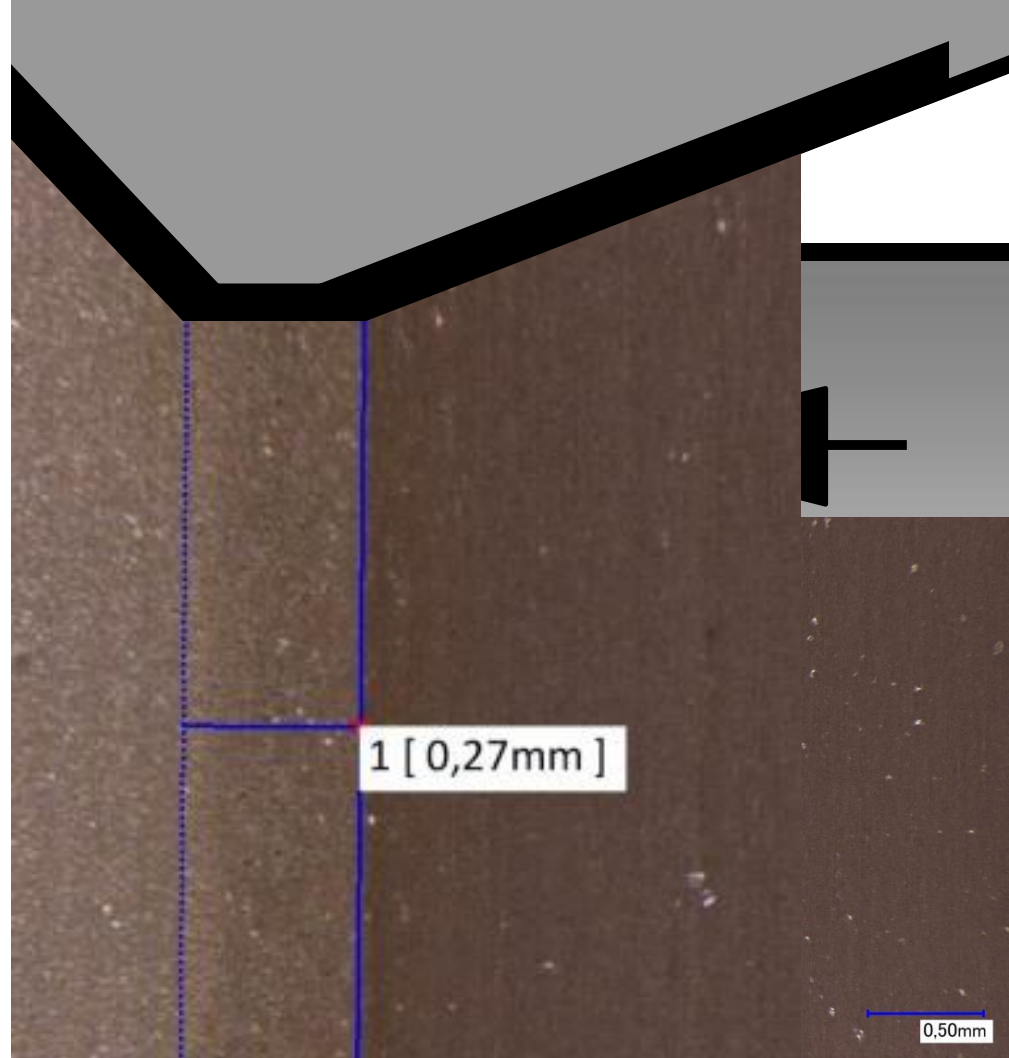
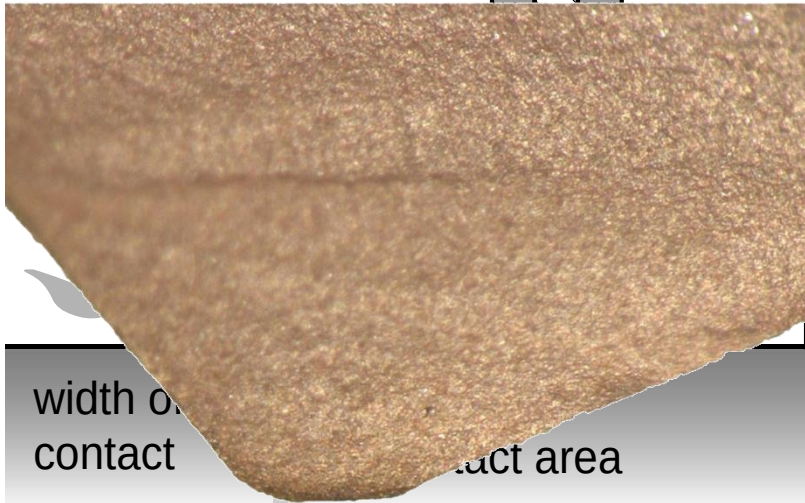


- Ein Radial-Wellendichtsystem ist ein komplexes tribologisches System
- Der Radial-Wellendichtring wird zugekauft
- Die Welle mit der Dichtungsgegenlauffläche wird selbst gefertigt oder vom Zulieferer nach eigenen Vorgaben bezogen
- Die Dichtungsgegenlauffläche beeinflusst:
 - Reibung
 - Verschleiß
 - Lebensdauer
 - Zuverlässigkeit
- Die Dichtungsgegenlauffläche ist häufige Problemursache!!!

Hydrodynamic pumping due to micro asperities on the seal lip.



The sealing edge has to remain soft and elastic without any disturbing impact!





Dichtsysteme für fluidtechnische Anwendungen

Lehrmaterial



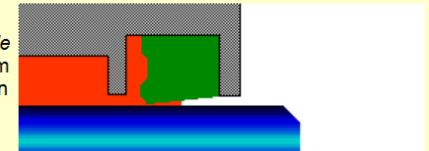
www.fachwissen-dichtungstechnik.de

Willkommen bei *fachwissen-dichtungstechnik.de*, einem unabhängigen Online-Dienst mit Informationen zu Gestaltung, Auswahl, Entwicklung und Betrieb von Dichtungen und Dichtsystemen.

- Home
- Einführung
- Ziele
- Inhaltsverzeichnis
- Autoren
- Sponsoren
- Adressen & Links
- Nutzungsbedingungen
- Kontakt
- Über uns
- Impressum

Eine besondere Herausforderung an den Ingenieur ist eine sichere Abdichtung von Maschinen und Anlagen. Wenn es um den unerwünschten Austritt von Flüssigkeiten oder Gasen aus Maschinen, Aggregaten und Anlagen geht, wird die häufig unterschätzte Kunst des Abdichtens zum zentralen Thema.

www.fachwissen-dichtungstechnik.de befaßt sich auf allen Ebenen mit dem Vermeiden oder mit der kontrollierten Eindämmung von Leakage. ([mehr](#))



www.fachwissen-dichtungstechnik.de besteht aus mehreren Elementen:



In 24 Fachkapiteln werden die physikalischen Grundlagen und die vielfältigen Techniken des Abdichtens in klarer Sprache und mit prägnanten Bildern beschrieben. Jedes Kapitel steht als PDF-File bereit und kann durch einfaches Anklicken heruntergeladen werden. Die Dokumente sind zwischen 560 KB und 1 MB groß. Ein [Inhaltsverzeichnis](#) und die Abstracts der Kapitelinhalte geben einen Überblick über den Inhalt dieser Wissensressource. Bitte beachten Sie die [Nutzungsbedingungen](#), die auch jedem Ausdruck beigelegt sind.



Die [Autoren](#) von *www.fachwissen-dichtungstechnik.de* sind Prof. Dr. Heinz K. Müller und Dr. Bernard S. Nau. Prof. Müller ist Begründer und war bis 1995 Leiter der Abteilung Dichtungstechnik am Institut für Maschinenelemente der Universität Stuttgart. Dr. Nau war bis 1998 Leiter der Abteilung Fluid Sealing Technology der British Hydromechanics Research Group (BHRG, früher BHRA).

- Institut
- Überblick Dichtungstechnik und tribologisches System
- Untersuchungseinrichtungen
- Charakterisierung von Wellenoberflächen
- Forschung und Wissenstransfer

SERVOHYDRAULISCHER PRÜFSTAND

Gehäusetrennstellen werden heute oft mittel Klebeverbindungen statisch abgedichtet. Um bei derartigen Dichtstellen die Belastbarkeit auf schwingende Schub- und Axialkräfte zu untersuchen werden hohe Kräfte und Anregungsfrequenzen benötigt. Mit Hilfe des servohydraulischen Prüfstandes können diese verwirklicht werden.



Prüfstände für statische Dichtungen

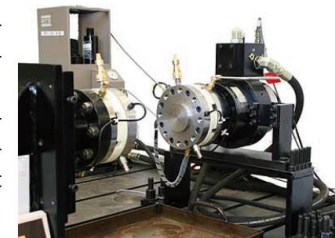
FLÄCHENDICHTPRÜFSTAND

Zur Untersuchung des Materialverhaltens von Flächendichtungen steht ein Prüfstand zur Verfügung, der Betrachtungen an Flächendichtverbindungen unter definierten Betriebsbedingungen erlaubt. Kernstück ist ein stufenlos drehzahlregelbarer Antrieb, mit dem die Prüfdichtung einer wechselnden Scherbeanspruchung ausgesetzt werden kann, und ein PC-gesteuertes Hydropuls-Aggregat, mit dem die Dichtung mit einem statischen oder dynamischen Innendruck beaufschlagt wird. Die Flächenpressung der Flansche auf die Prüfdichtung kann statisch oder dynamisch erfolgen. Zwei Heiz-Kühl-Einheiten ermöglichen eine Temperierung.



TORSIONSPRÜFSTAND

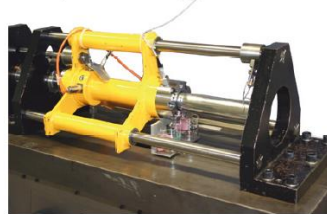
Mit dem Torsionsprüfstand kann das Materialverhalten von beliebigen Flächendichtungen, beispielsweise in Gehäusetrennfugen, untersucht werden. Dazu wird ein Prüfgehäuse zwischen den



Torsionszylinder und das Gegenlager gespannt. Die Belastung der Flächendichtstelle erfolgt momenten- oder winkelgesteuert. Die Belastungsfunktion ist bis hin zu einem realen Belastungskollektiv beliebig wählbar. Zusätzlich kann das Gehäuse über die Heiz-Kühl-Einheiten temperiert werden. Versagenskriterium ist eine Relativverschiebung oder Leckage.

REIBKRAFTPRÜFSTAND

Die Reibkraft von Hydraulikstangendichtungen kann mit dem Reibkraftprüfstand getrennt für ein- und ausfahrenden Hub gemessen werden. Versuche bis 35 MPa Druck und Geschwindigkeiten bis 1 m/s sind möglich.



Prüfstände für Hydraulikdichtungen

LECKAGEPRÜFSTAND

Leckage, Verschleiß und Förderwert einer Dichtungs-Stangen-Kombination werden auf dem Leckageprüfstand ermittelt. Die Einsatzgrenzen liegen bei 35 MPa Druck und 1 m/s Verfahrensgeschwindigkeit. Insgesamt können 10 Dichtungen gleichzeitig untersucht werden. Die Aufnahmen sind mit denen des Reibkraftprüfstands kompatibel. Somit können Dichtringe auf beiden Prüfständen untersucht werden, ohne dass sie aus Ihrer Nut ausgebaut werden müssen.



Prüfstand für Längsabstreifer

Prüfstand zur Untersuchung von linearen Dichtsystemen, wie beispielsweise Linearabstreifer. Durch die vom Prüfstand ausgeführte lineare Hubbewegung, können auch tribologische Verschleißuntersuchungen durchgeführt werden. Eine Verschmutzungseinrichtung ermöglicht die Untersuchung der Abstreif- und Dichtwirkung.



Prüfstände Radialwellendichtungen



Reibmomentmessung



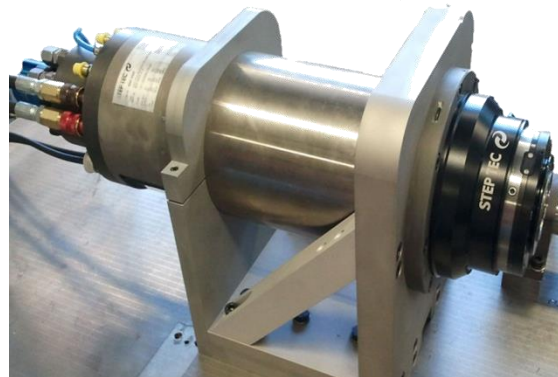
Tribometer



Rotordichtungsprüfstand



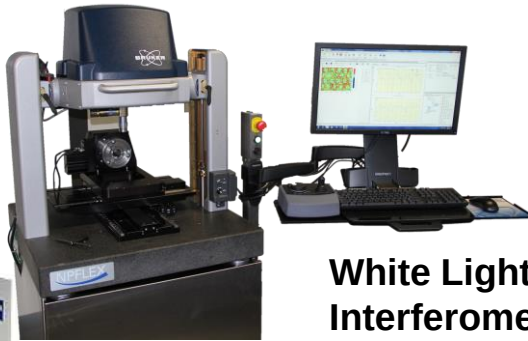
Dauerlaufprüfstände



Hochgeschwindigkeitsprüfstand



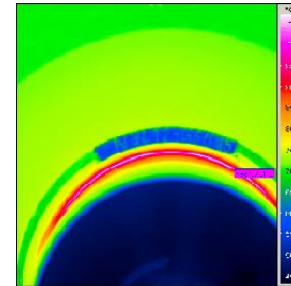
Dauerlaufprüfstände



White Light Interferometer

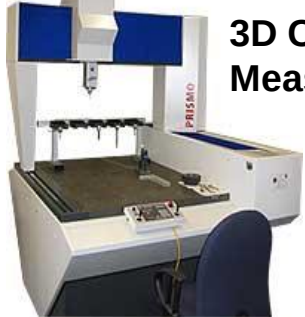
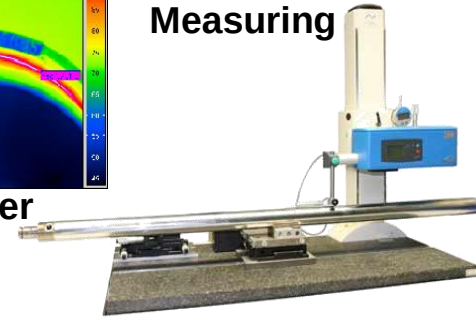


Radial Force Measuring



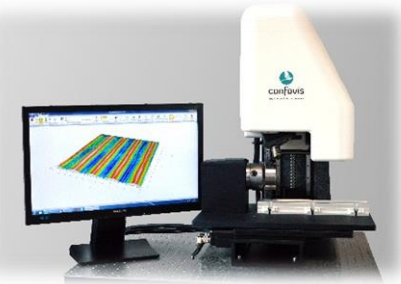
Thermal Imager

Roughness Measuring



3D Coordinate Measuring

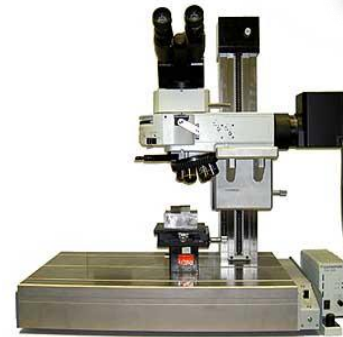
Confovis Structured Illumination



Contact Width Measuring



SEM + EDX
Source: LOT

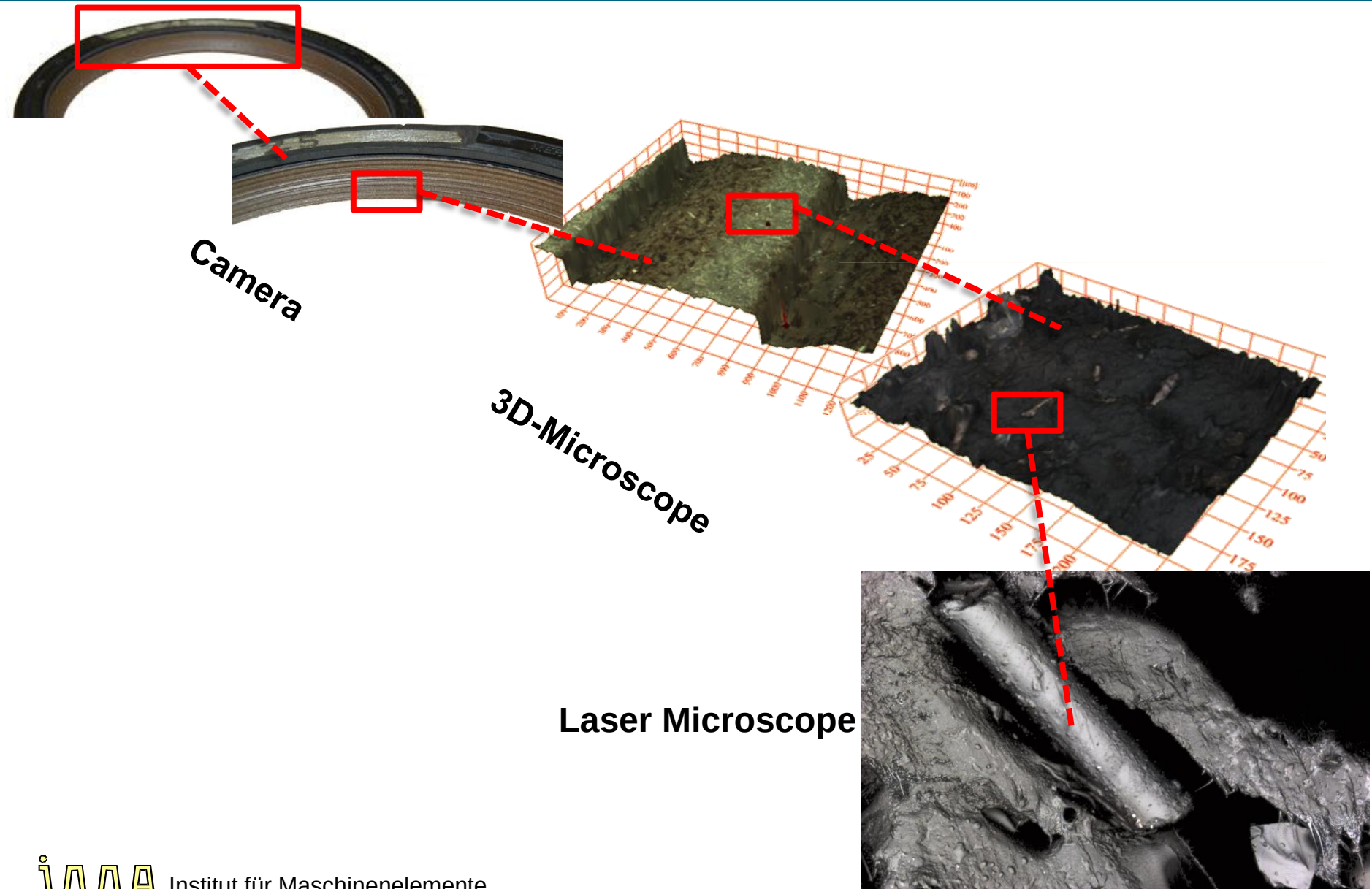


3D Microscope



Laser Microscope

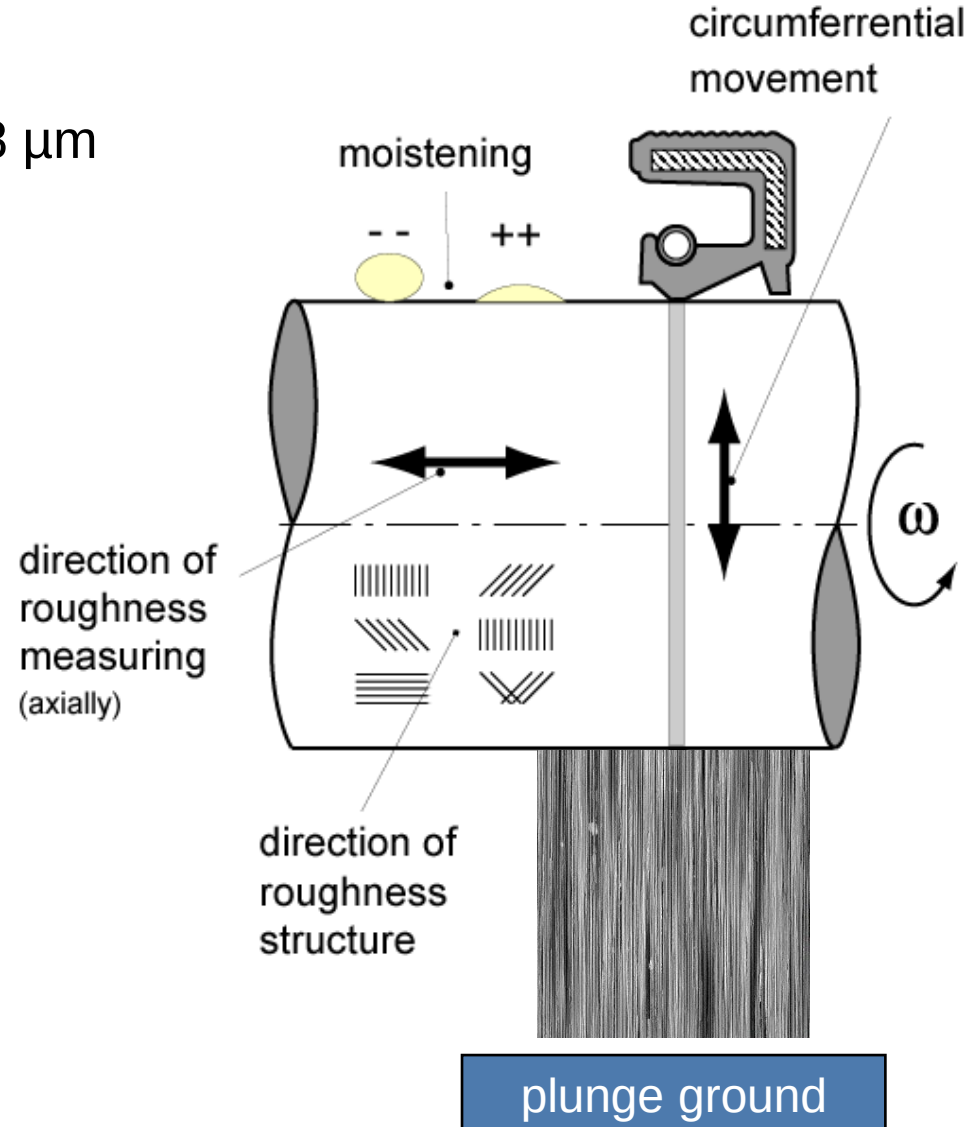
Visuelle Analyse mit verschiedenen Vergrößerungen



- Institut
- Überblick Dichtungstechnik und tribologisches System
- Untersuchungseinrichtungen
- Charakterisierung von Wellenoberflächen
- Forschung und Wissenstransfer

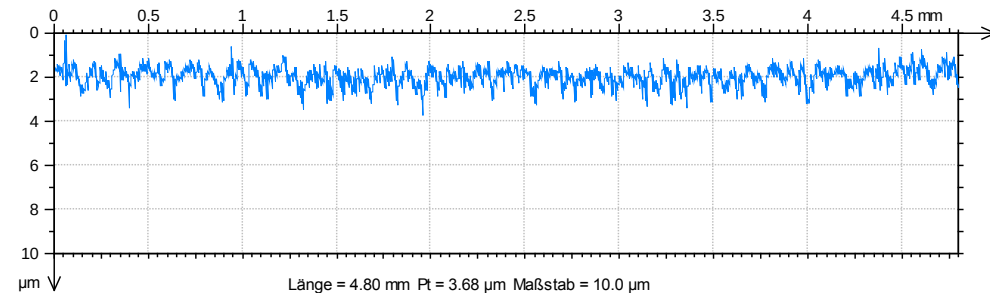
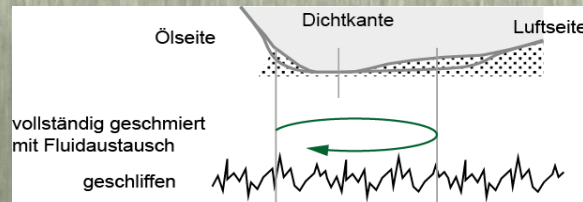
DIN 3760 / 3761:

- average roughness $R_a = 0,2 - 0,8 \mu\text{m}$
- medium roughness $R_z = 1 - 5 \mu\text{m}$
- max. roughness $R_{\text{max}} \leq 6,3 \mu\text{m}$
- well moistening surface
- no porosity
- hardness at least 55 HRC,
depth of hardening $\geq 0,3 \text{ mm}$
- diameter tolerance ISO h11
- roundness tolerance IT 8
- no machining lead (twist-textures)
- no damage: scratches



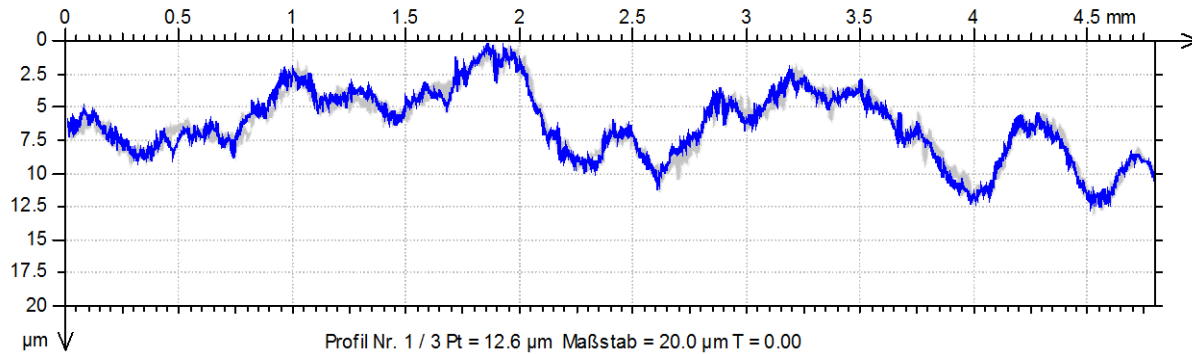
- No periodic structures (waviness)
- No failures (holes, scratches, marks,...)

Norm	Ra	Rz	Rmax	Rpm	Weitere Angaben
RMA-OS-1-1	0,20 - 0,43 μm	1,65 - 2,90 μm		0,50-1,25 μm	drallfrei
DIN 3760	0,20 - 0,80 μm	1,00 - 5,00 μm	6,30 μm		drallfrei
DIN 3761	0,20 - 0,80 μm	1,00 - 4,00 μm	6,30 μm		drallfrei
ISO 6194	0,20 - 0,50 μm	1,20 - 3,00 μm	-		drallfrei

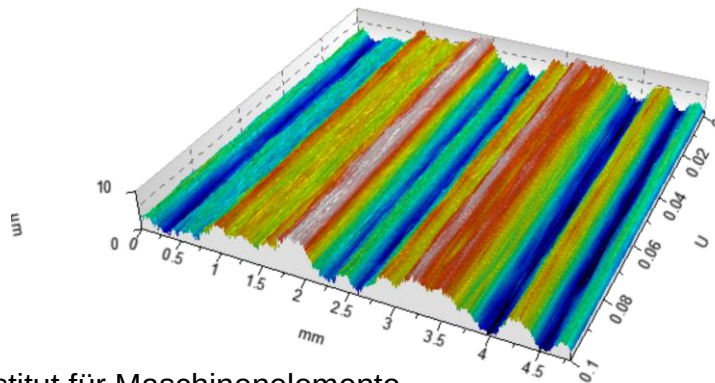
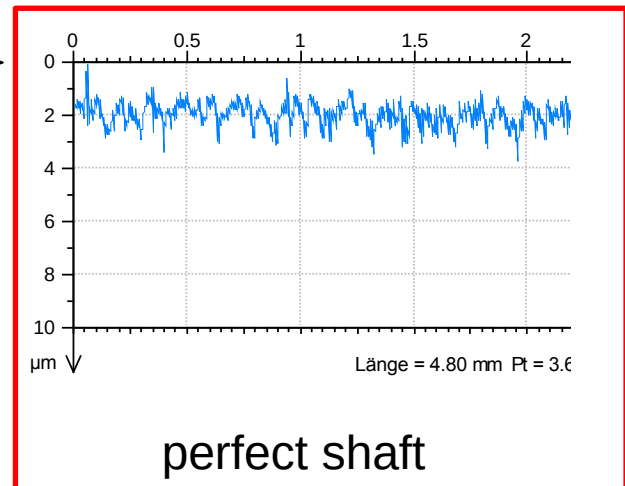
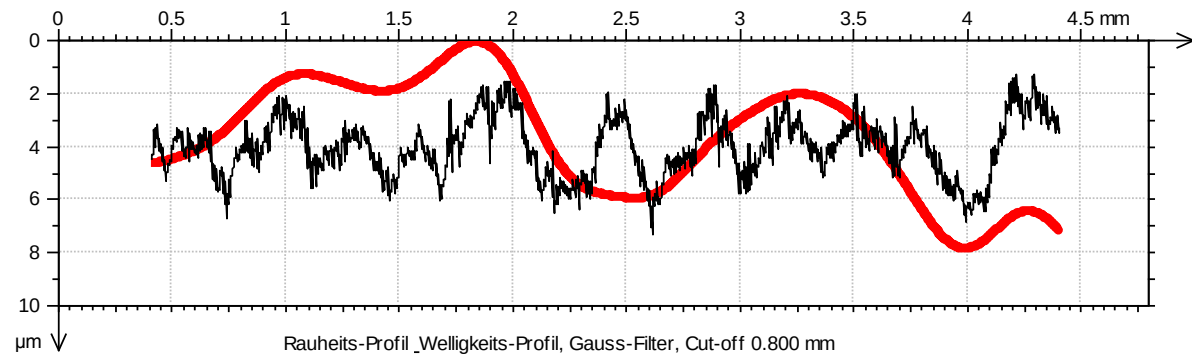


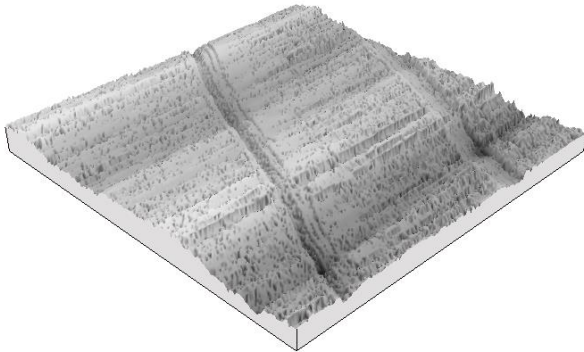
1,00mm

Profil – Waviness – Roughness



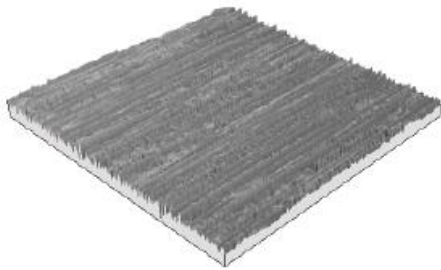
ISO 4287		
Rt	5.99	μm
Ra	0.923	μm
Rz	4.82	μm
Pt	11.0	μm
Wt	6.50	μm
VDA 2006		
Rmax	5.99	μm





Überlagerte Strukturanteile

- Es existieren verschiedene Drallausprägungen
- Drallausprägungen treten in Überlagerung auf
- Kategorisierung bspw. nach Größenordnung und Skalenbereich sinnvoll



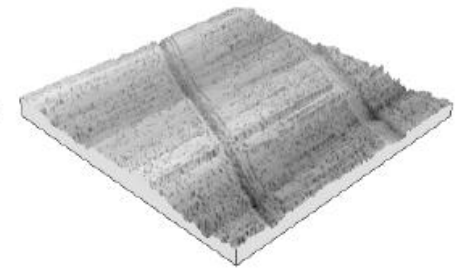
Mikrodrall



Mikrowelligkeit

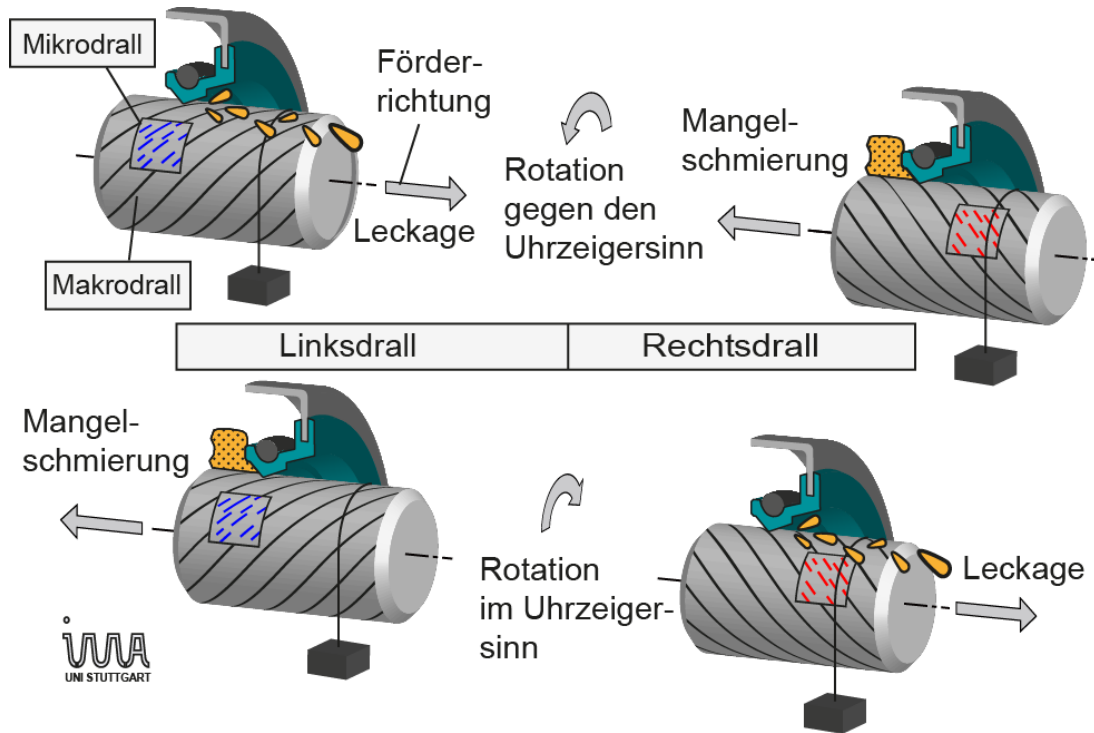


Makrodrall



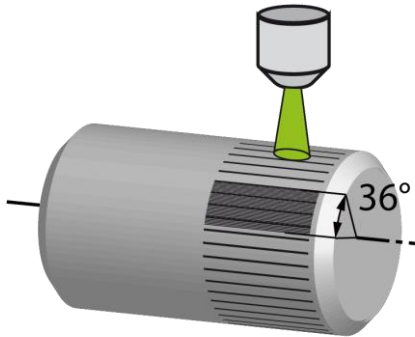
Kratzer

Drall und die Auswirkungen auf das Dichtsystem

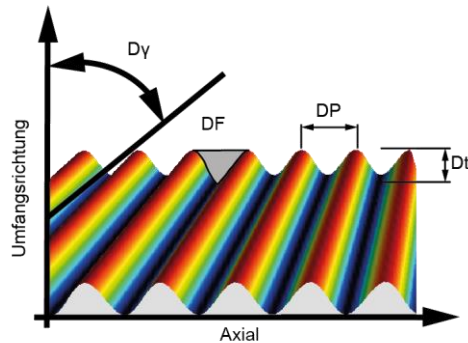


- Drall verursacht eine Förderwirkung der Dichtungsgegenläufigkeit
- Die Wirkweise von Drall ist von der Wellendrehrichtung abhängig
 - Leckage
 - Mangelschmierung/ thermische Schädigung

1. Messung

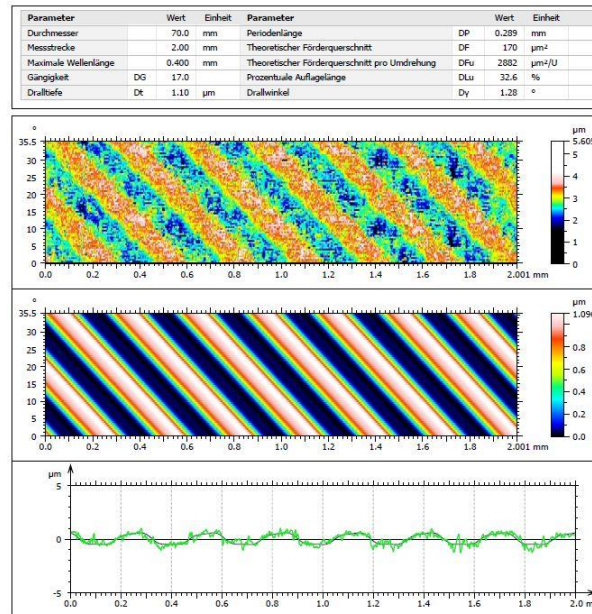


2. Auswertung



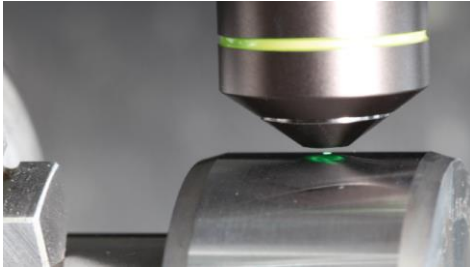
Dy ... Drallwinkel [°]
 DF ... Förderquerschnitt [μm^2]
 DP ... Periodenlänge [mm]
 Dt ... Dralltiefe [μm]
 DG ... Gängigkeit []

3. Ergebnisdarstellung

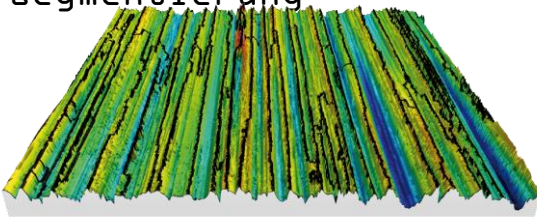


- Industrieweit verbreitetes und anerkanntes Verfahren.
- Die Oberfläche wird über je 72 axiale Profilschnitte in einem Umfangsbereich von 36° und 360° gemessen.
- Quantitative Kenngrößen werden durch eine Frequenzanalyse ermittelt.
- Die axiale Messlänge muss mindestens 5 Periodenlängen entsprechen.
- Nulldrall beschreibt eine in sich geschlossene Makrodrallausprägung ohne Steigung. Bei Schrägstellung des Dichtringes kann Leckage auftreten.

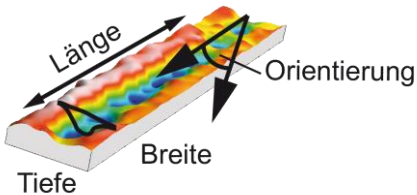
1. Messung



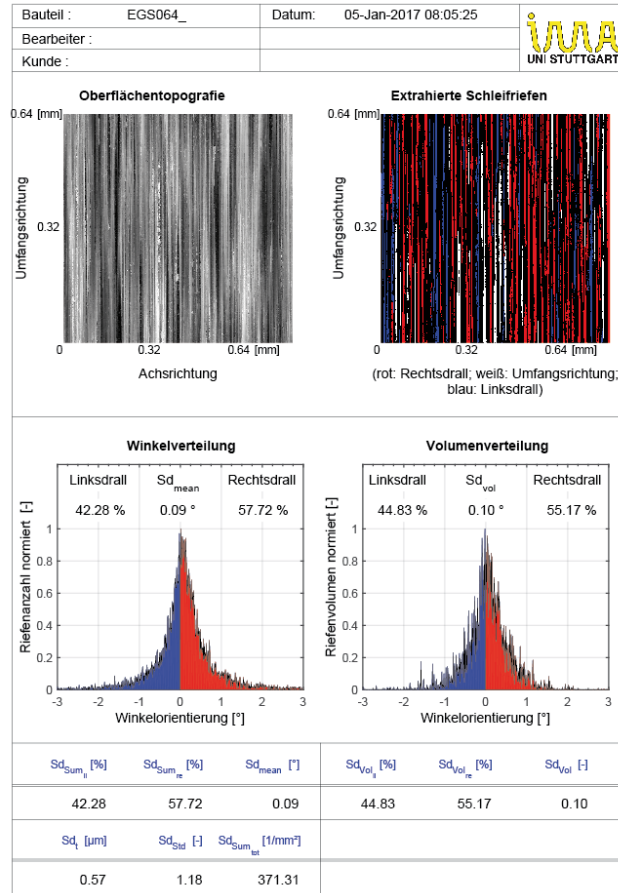
2. Filterung + Segmentierung



3. Merkmalsextraktion

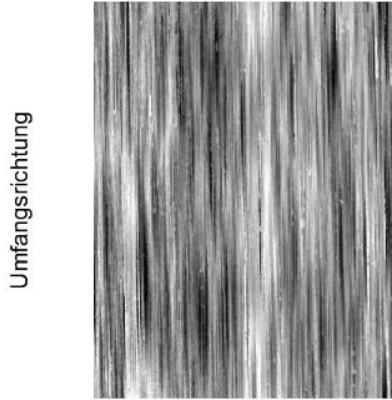


4. Statistische Auswertung

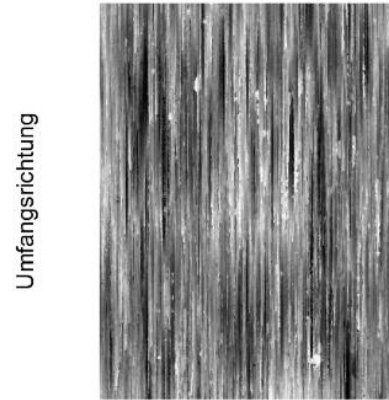


- Strukturbasierte Analysemethode für Mikrodrall.
- Algorithmische Kompensation von Einspannfehlern für eine anwenderunabhängige Daten-erfassung und Auswertung.
- Wiederholbare und reproduzierbare Oberflächen-kenngrößen für eine quanti-tative Bewertung von Mikrodrall.
- Prozesskontrolle auf Basis sta-tistisch fundierter Messdaten.
- Ergebnis visuell und numerisch schnell erfass- und vergleichbar.

Oberflächentopographie



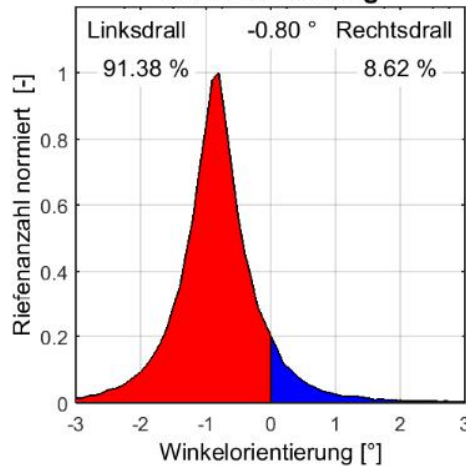
Oberflächentopographie



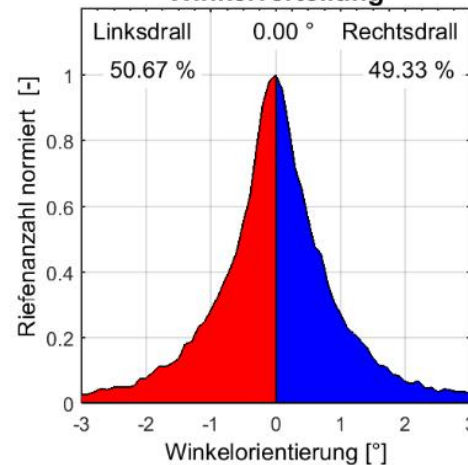
Achsrichtung

Achsrichtung

Winkelverteilung



Winkelverteilung



➤ Welle 1 ($Sd_{\text{mean}} -0,8^\circ$)
verursachte sofortige
Leckage

➤ Welle 2 ($Sd_{\text{mean}} = 0^\circ$)
keine Auffälligkeiten

Bsp. 1: Drall

Bsp. 2: Drallfrei

Sinnvolle Oberflächenkenngrößen für Wellenoberflächen

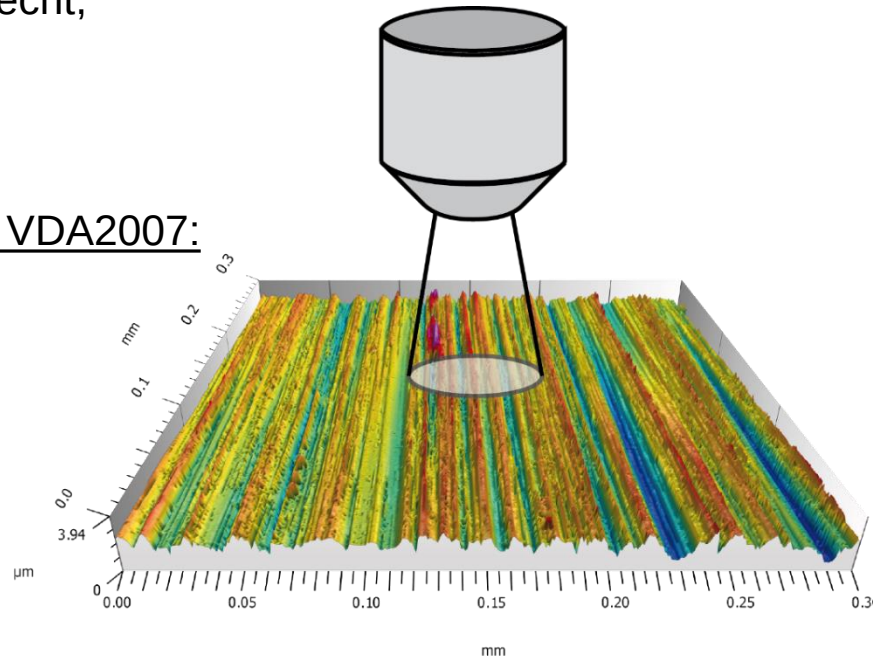
2D: Rauheit:

- R_a , R_z , R_t , R_{max}
- W_t , P_t
- $W_{t_{10mm}}$ (nicht normgerecht, dennoch sinnvoll)

2D: Dominante Welligkeit VDA2007:

- W_{Dc}
- W_{Dt}
- W_{DSm}

3D: Rauheit ISO25178: Vielzahl neuer tribologisch interessanter Kenngrößen



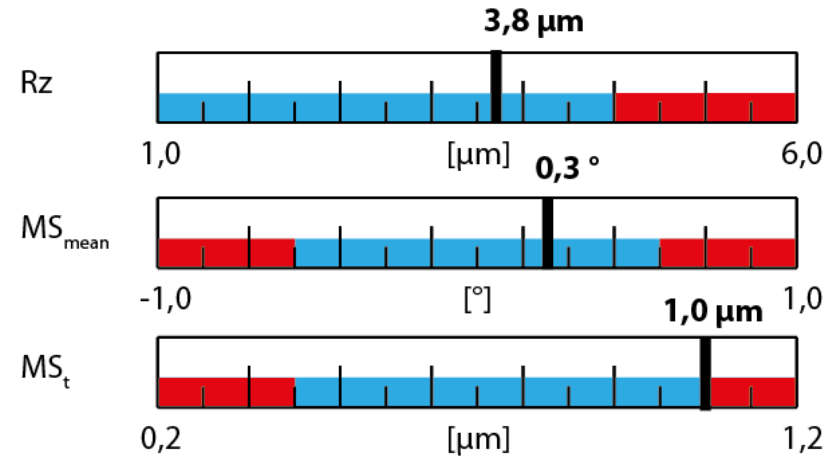
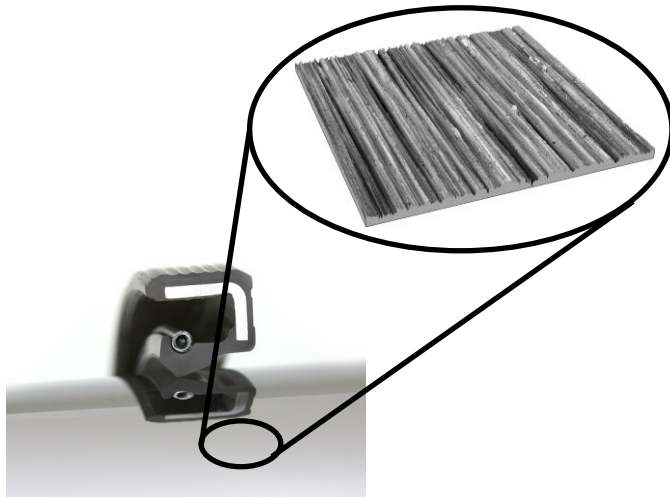
Makrodrall:

- D_y
- D_t
- DG
- DF / DF_u
- DP
- DL_u

IMA Mikrodrall:

- Sd_{sum_li} , Sd_{sum_re}
- Sd_{vol_li} , Sd_{vol_re}
- Sd_{mean}
- Sd_{vol}
- Sd_t , Sd_v
- Sd_{Std} , Sd_{Ku} , Sd_{Sk}
- Sd_{sum_tot}

Was bringt die Messung ohne bekannte Grenzwerte?



Beispiel für Grenzwerte:

Uni-Stuttgart Kennwerte für Wellenoberflächen							
Ra	Rz	Rmax	Rt	Wt	Wt _{10mm}	Dominante Welligkeit	Drall
0,4 - 0,7 μm	2,5 - 4,0 μm	6,3 μm	6,3 μm	≤ 1,0 μm	≤ 1,3 μm	null	Drallfrei

- Institut
- Überblick Dichtungstechnik und tribologisches System
- Untersuchungseinrichtungen
- Charakterisierung von Wellenoberflächen
- Forschung und Wissenstransfer

Verschiedene Projekte in Ausschüssen der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) im VDMA

- Forschungskuratorium Maschinenbau (FKM) PA „Wellendichtungen“
- Forschungsvereinigung Antriebstechnik (FVA) PA „Dichtungen“ & „Messtechnik“
- VDMA „Forschungsfonds Fluidtechnik“



- Mikrostrukturanalyse I-III



- 3D-Kennwerte
- Schädlicher Drall



- Einfluss der Oberflächenrauheit von Hydraulikstangen auf Reibung und Leckage

- Kontinuierliche Berichterstattung, Abschlussberichte und Dissertationen
- Ausbildung von Ingenieuren und Doktoren für die deutsche Industrie

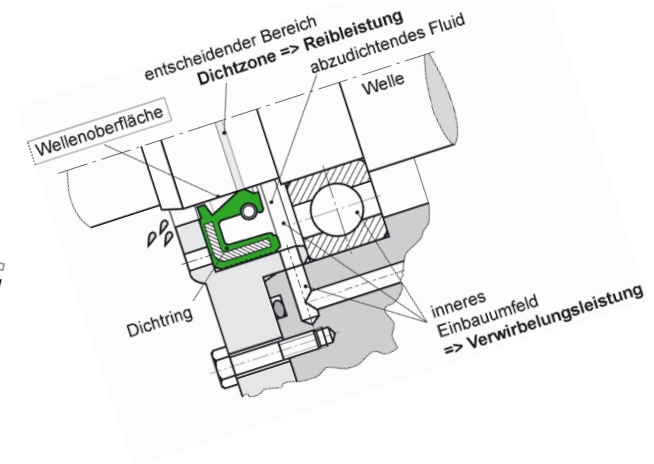
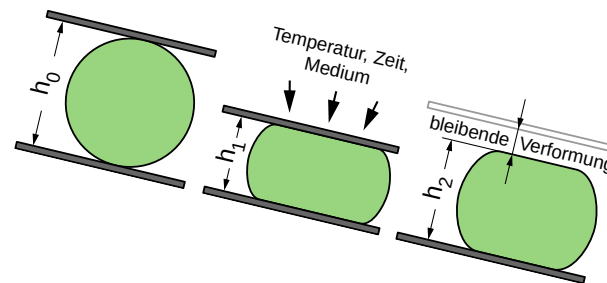
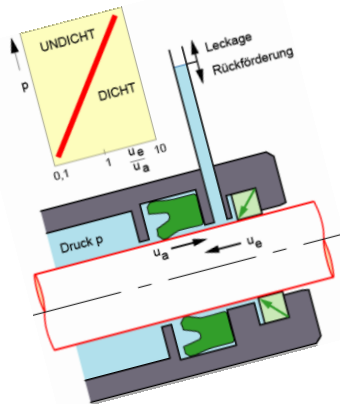
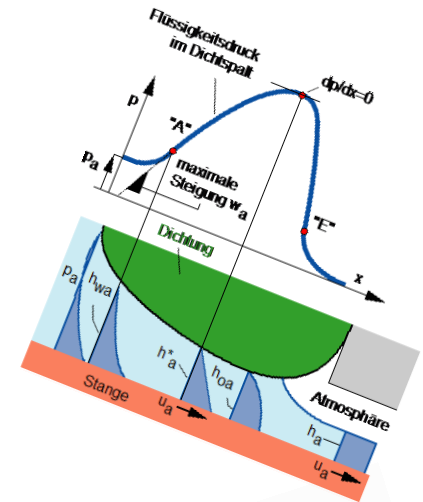
→ Ihr Nutzen!

	2007	2008	2010	2012	2013	2014	2015	aktuell
Gesamte Hörerzahl	40	44	48	58	119	105	83	60
 Industrieteilnehmer	8	1	8	7	10	6	13	11

Inhaltsverzeichnis des Skripts

Kapitel		Seite			
1	Vorwort und Einleitung	1	11	Druckbelastbare Radialdichtungen	61
2	Grundbegriffe – Elemente – Systeme	5	12	Gleitringdichtungen	69
3	Dichtmechanismus elastischer	11	13	Drosselspaltdichtungen	91
4	Verschleiß von Dichtungen	17	14	Gewinde-Wellendichtungen	95
5	Strömung in engen Dichtspalten	19	15	Zentrifugal-Wellendichtungen	99
6	Radial-Wellendichtringe	25	16	Hydraulikdichtungen	103
7	Schutzdichtungen	37	17	Pneumatikdichtungen	125
8	Fang-Labyrinth und Sperrluftdichtungen	43	18	Kolbenringe und	133
9	Magnetflüssigkeits-Dichtungen	51	19	Drosseldichtungen für Gase	143
10	Weichpackungs-Stopfbuchsen	55	20	Hermetische Dichtungen	149
			21	Statische Dichtungen	157

- 2-tägiges Seminar am IMA
- statische und dynamische Dichtungen
- Prüffeldbesichtigung
- Jeder Teilnehmer erhält ein ausführliches Skript (164 S.)
- Teilnehmer 1250.-€
- Nächstes Seminar 5. + 6.10.2017,
Anmeldeschluss 11.9.2017
- Feedback nach Schulnoten zwischen 1 und 2
- Nutzen: Auffrischung und „Blick“ über den Tellerrand



Donnerstag, 5.10.2017

Anreise/Beginn

8.30 Uhr Kaffee
9.00 - 10.55 Uhr Einführung, Vorstellung des Instituts,
Grundlagen, Grundbegriffe,
Verschleiß von Dichtungen,
Strömung in engen Spalten

Pause

11.20 - 12.55 Uhr Dichtmechanismus elastischer
Dichtungen, Radial-Wellendichtringe

Mittagessen

14.00 - 15.45 Uhr Schutzdichtungen,
Fanglabyrinthdichtungen

Pause

16.10 - 18.00 Uhr Druckbelastbare Radialdichtungen,
Stopfbuchsen, Statische Dichtungen

Ende

Diskussion, Besichtigung der Prüffelder

Freitag, 6.10.2017

8.00 - 9.30 Uhr Gleitringdichtungen

Pause

10.00 - 11.15 Uhr Hydraulikdichtungen

Pause

11.45 - 12.40 Uhr Drosselspaltdichtungen,
Zentrifugal-Wellendichtungen,
Gewinde-Wellendichtung

Mittagessen

14.00 - 15.00 Uhr Pneumatikdichtungen,
hermetische Dichtungen

Pause

15.30 - 16.30 Uhr Magnetflüssigkeits-Dichtungen,
Kolbenringe und Dichtgrenzen

Ende

Freie Diskussion





Die Broschüre "Innovative Dichtungstechnik – effizient und umweltbewusst" zeigt die VDMA-Aktivitäten im Bereich Dichtungstechnik. Weiterhin enthält sie neben redaktionellen Beiträgen von wissenschaftlicher Seite, auch einen speziellen Herstellernachweis für Fluiddichtungen, Dichtungsplatten/Flachdichtungen und Gleitringdichtungen.



Dr. Christian Geis
(+49 69) 66 03-13 18

[Nachricht schreiben](#)

International Sealing Conference
Internationale Dichtungstagung

19th ISC
Stuttgart, Germany
Oct. 12-13, 2016

**Dichtungstechnik –
Unverzichtbar**

Egal ob Auto, Hydraulikzylinder,
Smartphone oder Küchenmaschine – kein
technisches Produkt kommt ohne das
Bauelement Dichtung aus.

Werden die Produkte leistungsfähiger,
steigen auch die Anforderungen an die
Dichtsysteme. Höhere Leistung, geringerer
Energieverbrauch, längere Lebensdauer
und steigende Zuverlässigkeit sind aber
ohne eine innovative Dichtungstechnik
undenkbar.



Eine Kooperation von



Veranstalter:

Fachverband Fluidtechnik im VDMA e.V.
Frankfurt am Main
Vorsitzender: Christian H. Kienzle

Kontakt: Dr. Christian Geis
E-Mail: christian.geis(at)vdma.org

Kommen Sie zur 20th ISC vom 10.-11. Oktober 2018



Besuch 2013 von
Ministerpräsident und
Wissenschaftsministerin
BaWü

Besuchen Sie uns: Halle 2, Stand A18

24. - 28. April 2017 • Hannover • Germany



Alleine mit Dichtungsproblemen ?

Wir helfen Ihnen...

- Konzeption
- Untersuchung
- neutrale Beratung
- Schadensanalyse
- Forschungsprojekte
- 50 Jahre Kompetenz

IMA
UNI STUTTGART
Dichtungstechnik

Dr. Frank Bauer
Prof. Werner Haas
+49 (711) 685 - 66170
www.ima.uni-stuttgart.de/dicht



Wir helfen Ihnen – Testen Sie uns