Fraunhofer KIT Karlsruher Institut für Technologie

MIKROTRIBOLOGIE CENTRUM µTC

TriboKon: Tribologische Vorkonditionierung

21.6.2023

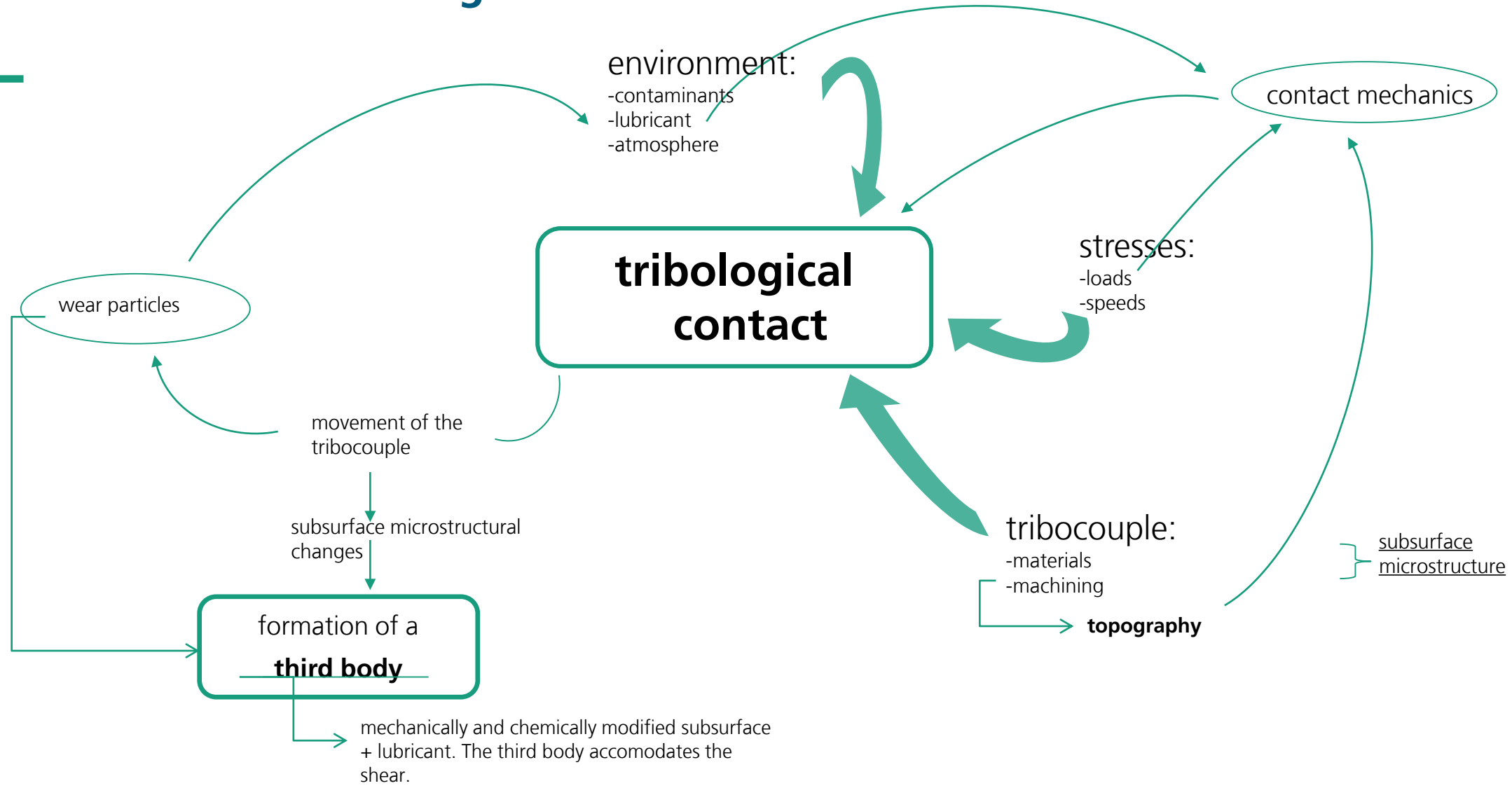
Dr. Dominic Linsler

Inhalt

1. Der tribologische Kontakt
2. Tribologische Vorkonditionierung
3. Ergebnisse der Reibungsversuche
4. Diskussion und Ausblick

 © MikroTribologie Centrum µTC offen

Processes in the tribological contact



 © MikroTribologie Centrum µTC offen

Fraunhofer KIT
MIKROTRIBOLOGIE CENTRUM µTC

Einlauf im niedrigsten Verschleißratenregime

Verschleißraten in der Größenordnung nm/h

topographic changes

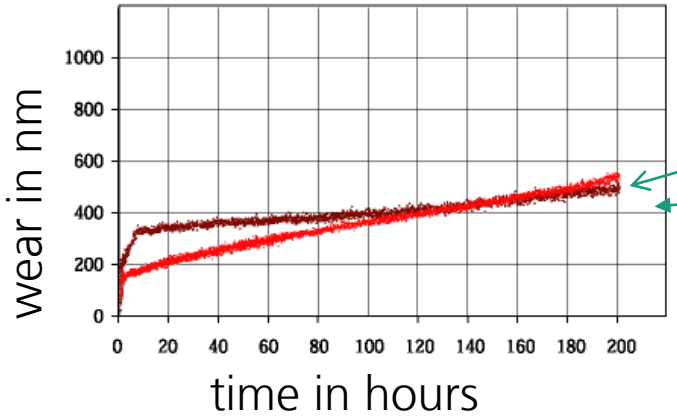
third body

running-in behavior

changes of friction and wear rate over time

technically relevant for most mechanical engineering applications: ultra low wear regime with a few nm/h

measurement with radionuclide technique:
+ online
+ highest resolution



 © MikroTribologie Centrum µTC offen

Fraunhofer KIT
MIKROTRIBOLOGIE CENTRUM µTC

Motivation im Projekt

chemische Vorkonditionierung von Oberflächen

Bild: Friedrich Karl Mohr, Wikipedia, CC-BY

chemische Vorkonditionierung

Stahl (42CrMo4 → 16MnCr5)

Aluminium (harteloxiert)

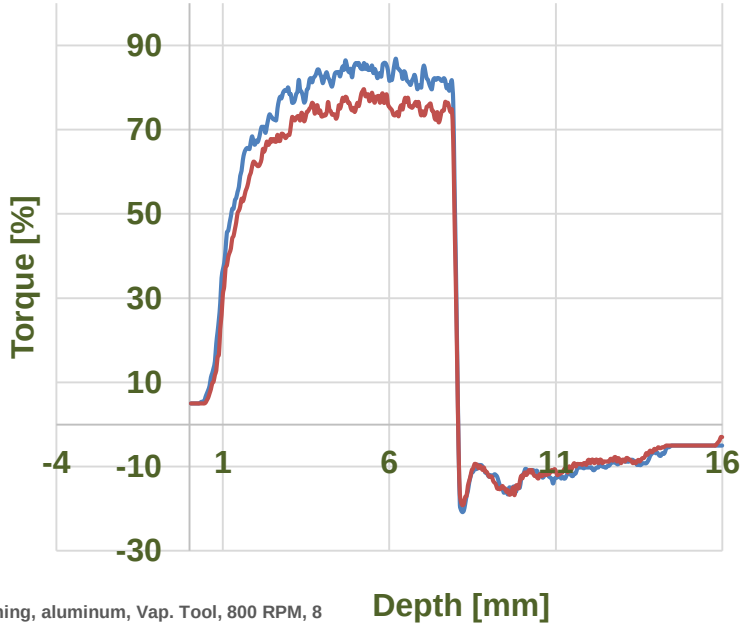
GSE Electroplating

 © MikroTribologie Centrum µTC

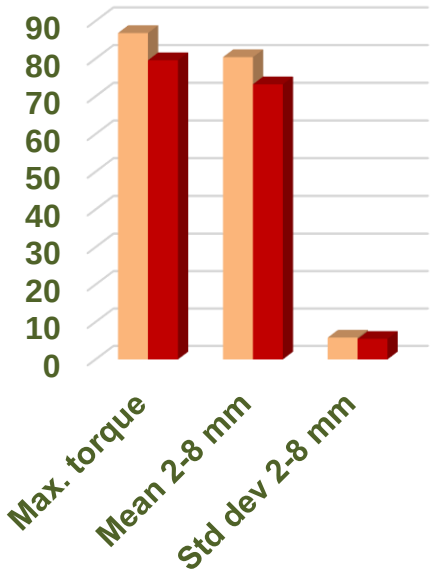
Schmierstoffauswahl

ML Lubrication

- Screening und Beschaffung verfügbarer biobasierter Additive
  - P-haltige Additive
  - S-haltige Additive
- Charakterisierung für ein Ranking verschiedener Mischungen im „Tapping Torque Tester“



Forming, aluminum, Vap. Tool, 800 RPM, 8 mm



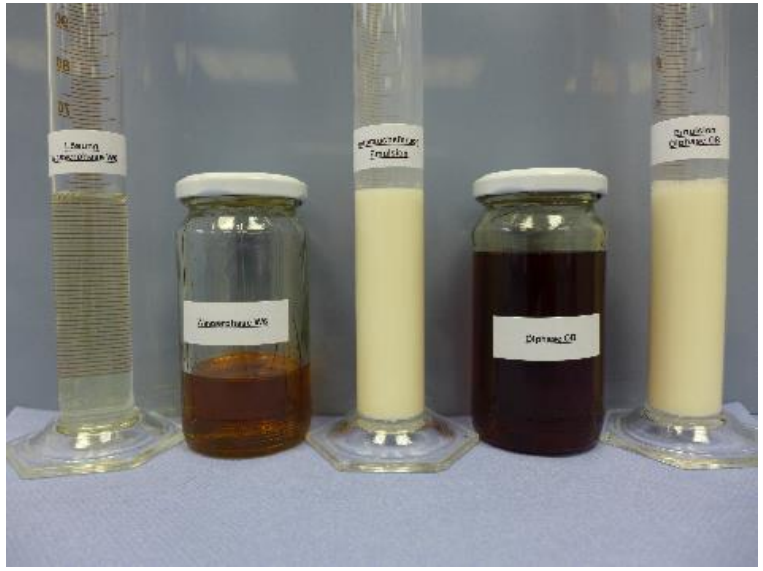
Bilder: ML Lubrication

© MikroTribologie Centrum µTC intern/ offen/ vertraulich

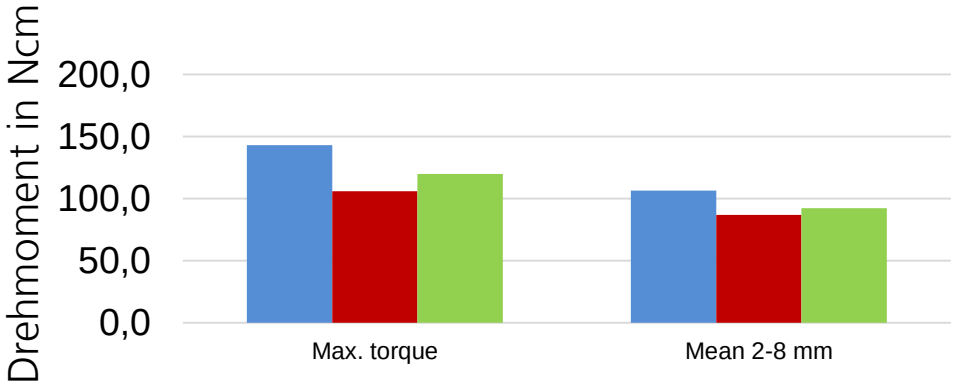
Schmierstoffauswahl und Emulsionsherstellung

ML Lubrication

- Beste Varianten aus dem Sceening → Formulierung in Emulsionen
- Emulsionen werden direkt vor der Endbearbeitung gemischt.



Product	Vg2B 17,5% ester oil	#7Ba 17,5% sulfurized triglyceride a	#7Bb 17,5% sulfurized triglyceride b
Max. torque	143,0	106,0	120,0
Mean 2-8 mm	106,4	86,8	92,3
Mean % 2-8 mm	100,0	81,6	86,7
Mean % 0-8 mm	100,0	81,8	86,6
Mean % rewind	100,0	28,4	31,1
Std dev 2-8 mm	11,4	5,9	10,6



 © MikroTribologie Centrum µTC offen

Vorkonditionierung der Stahlproben

Streamfinish, Fa. OTEC

Endbearbeitung: Impact der Granulatteilchen auf der Oberfläche

- Abtrag / Einglättung
- Eigenspannungen
- Randzonenveränderung

Bild: OTEC

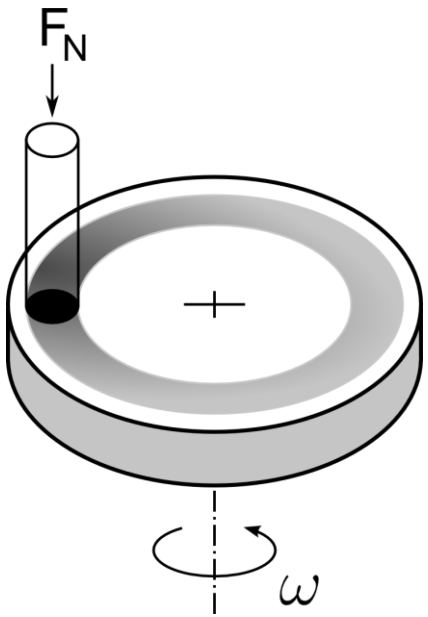
 © MikroTribologie Centrum µTC offen

Tribologische Charakterisierung

Zwei Tribosysteme

- Stift-Scheibe-Tribometer
  - 42CrMo4 Scheibe, normalisiert
  - Stift GG EN GJL 250
- Zwei-Scheiben-Prüfstand
  - Einsatzgehärtete Scheiben 16MnCr5

- Endbearbeitung der Scheiben über Streamfinish zur Einstellung der Oberflächenfunktionalisierung



 © MikroTribologie Centrum µTC offen

Endbearbeitung von Stahlscheiben

Stift-Scheibe-Tribometer

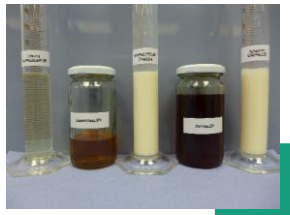
Proben und Randbedingungen

- Scheiben 42CrMo4, Streamfinish
  - Bearbeitung mit / ohne Emulsion

Zu betrachtende Einflussgrößen

- Topographie / Rauheit
- Oberflächenchemie
- Randzonengefüge

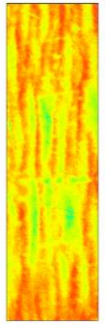
Streamfinish-prozess



KSS-Eigenschaften

Funktionalisierung

Proben-eigenschaften



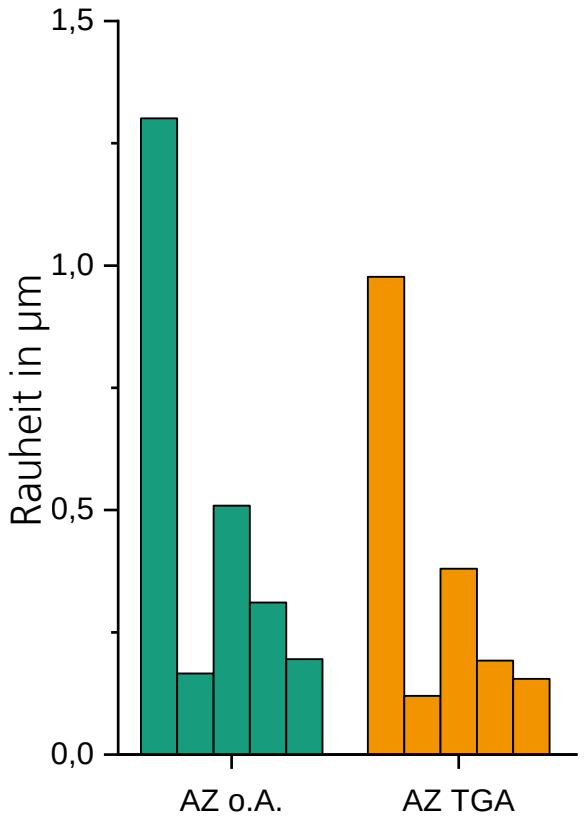
© MikroTribologie Centrum µTC offen

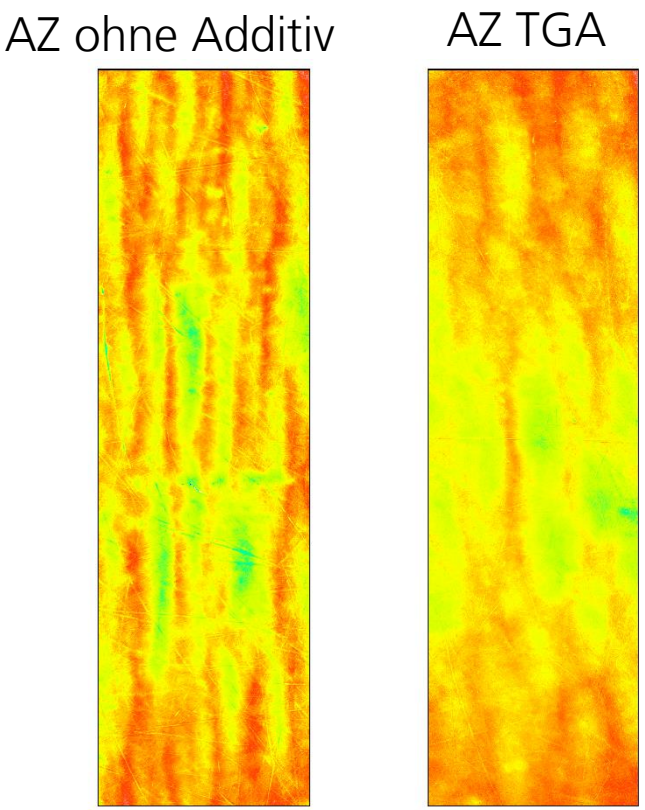
Endbearbeitung von Stahlscheiben

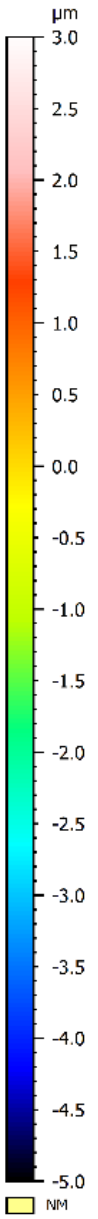
Stift-Scheibe-Tribometer

Ergebnisse

- Topographie: vergleichbar
- chem. Oberflächenfunktionalisierung: (Messung mit XPS):
  - keine Funktionalisierung
  - veränderter Al_2O_3-Gehalt







 © MikroTribologie Centrum µTC offen

Fraunhofer KIT
MIKROTRIBOLOGIE CENTRUM µTC

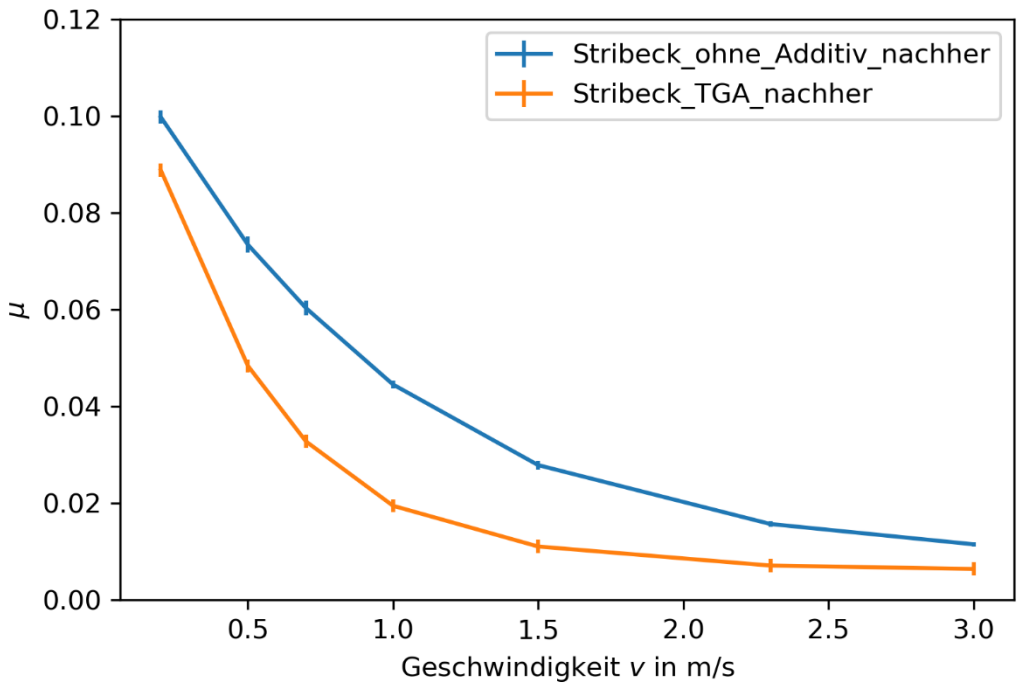
Endbearbeitung von Stahlscheiben

Stift-Scheibe-Tribometer

Ergebnisse

Tribologie:

- Charakterisierung unter Berücksichtigung des Einlaufverhaltens
- Leichte Verbesserung der tribologischen Eigenschaften



 © MikroTribologie Centrum µTC offen

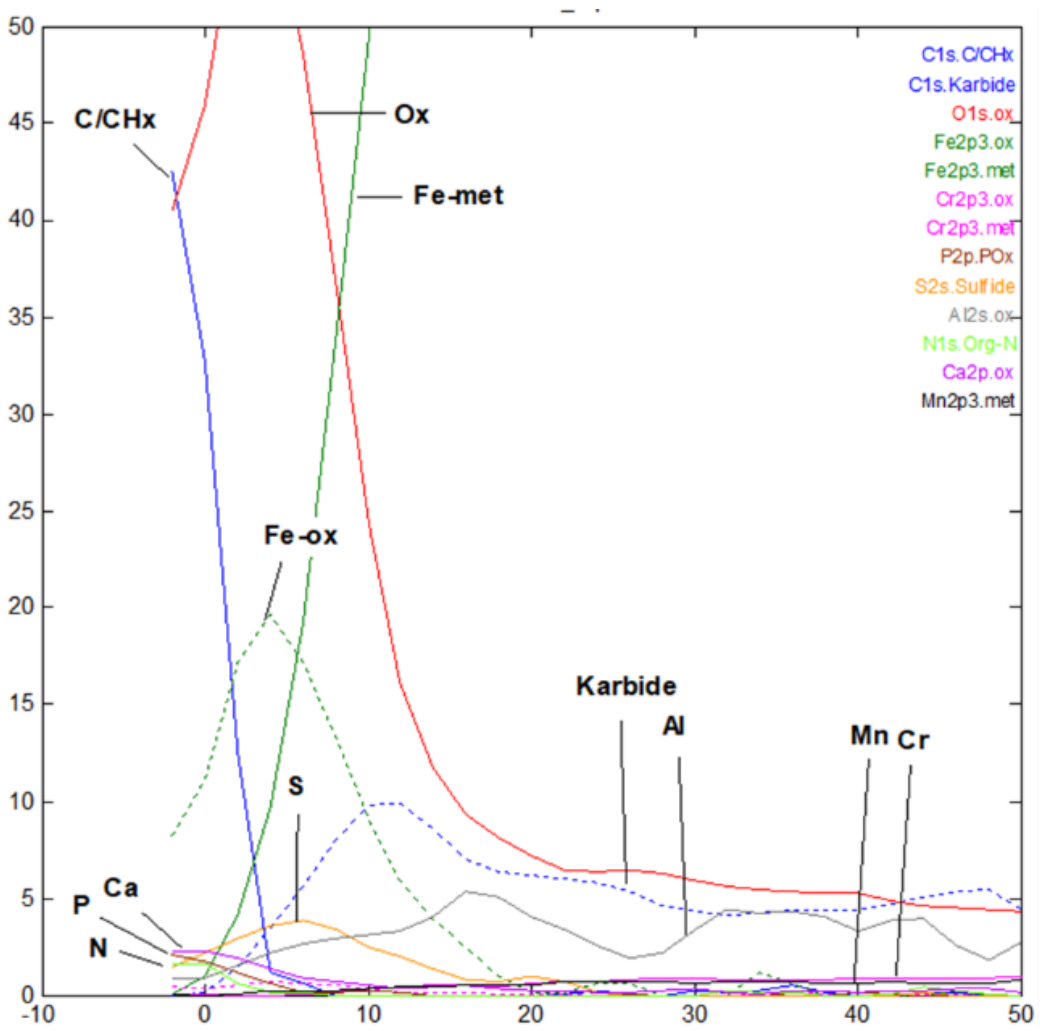
Fraunhofer KIT
MIKROTRIBOLOGIE CENTRUM µTC

Endbearbeitung von Stahlscheiben

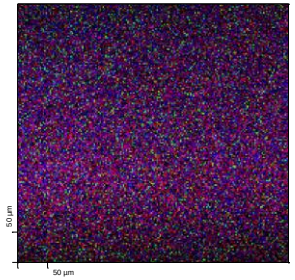
Zwei-Scheiben-Prüfstand

Funktionalisierung der Oberflächen

- Reproduzierbare S-Detektion auf der Metall-oberfläche
- Gleichzeitig deutliche Einglättung der Oberflächen durch den Streamfinsih-Prozess



red = carbon
blue = oxygen
green = sulfur



Oberflächenmapping: homogene Verteilung

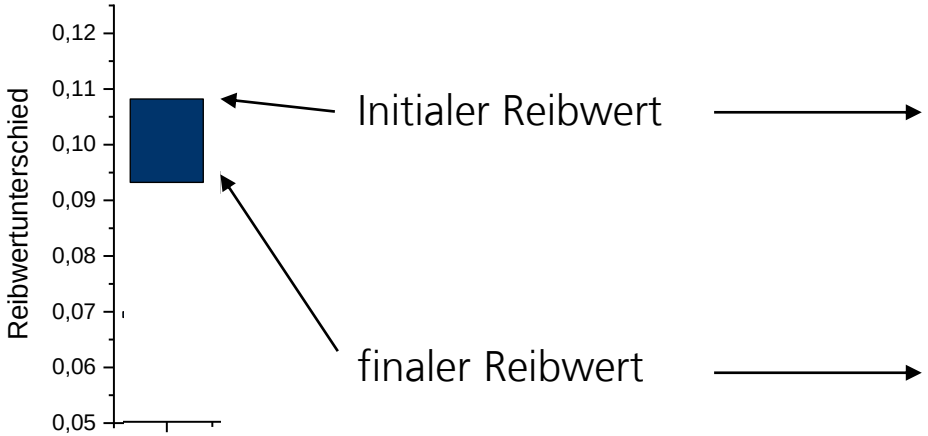
 © MikroTribologie Centrum µTC offen

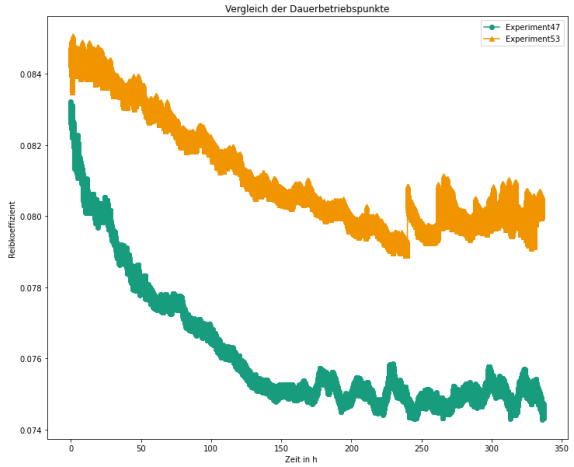
Fraunhofer KIT
MIKROTRIBOLOGIE CENTRUM µTC

Endbearbeitung von Stahlscheiben

Zwei-Scheiben-Prüfstand

- Vergleich unterschiedlicher Endbearbeitungen
- System mit volladditiviertem Öl ISO VG32 geschmiert, $T_{Öl}$ = 50 °C
- 10 % Schlupf
- Pressung nach Hertz 2 GPa
- Test unterschiedlicher Drehzahlen
- Berücksichtigung des Einlaufverhaltens





 © MikroTribologie Centrum µTC offen

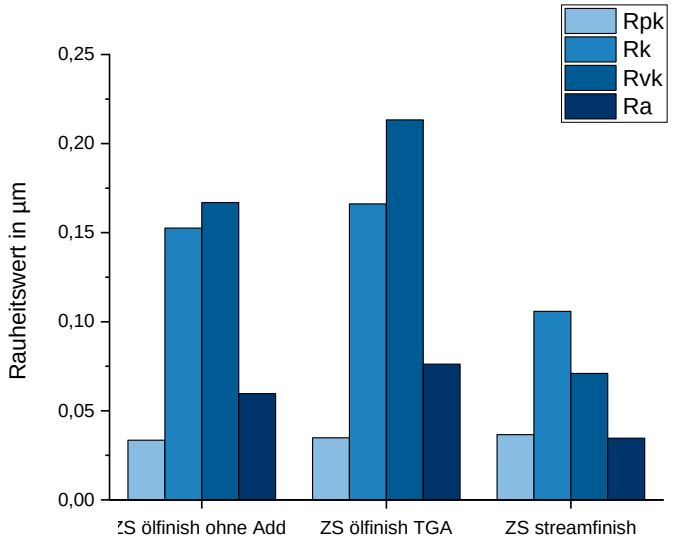
Fraunhofer KIT
MIKROTRIBOLOGIE CENTRUM µTC

Endbearbeitung von Stahlscheiben

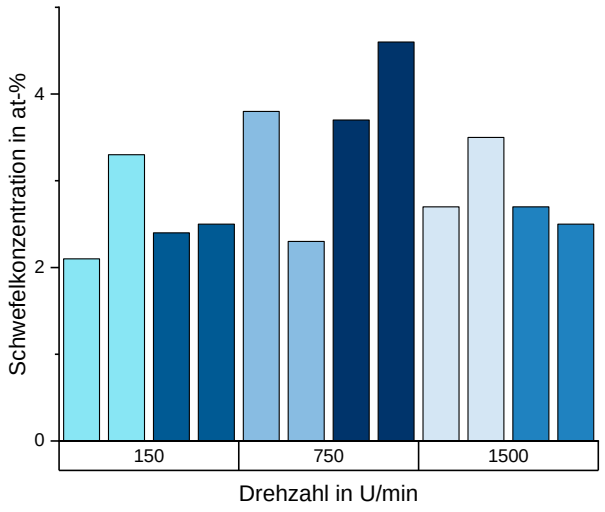
Zwei-Scheiben-Prüfstand

Ergebnisübersicht Topographie und Oberflächenchemie

vergleichbare Rauheit, insbesondere R_{pk}



reproduzierbarer S-Eintrag



Werte der Spur nach tribologischer Belastung

 © MikroTribologie Centrum µTC offen

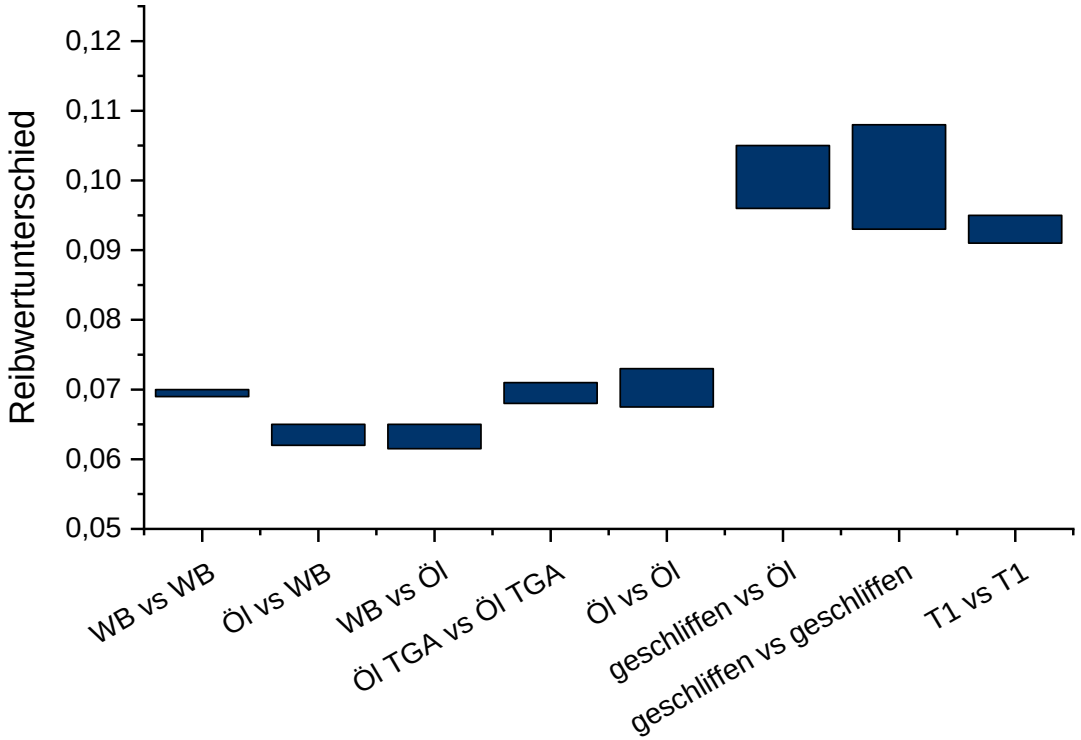
Fraunhofer KIT
MIKROTRIBOLOGIE CENTRUM µTC

Endbearbeitung von Stahlscheiben

Zwei-Scheiben-Prüfstand

Ergebnisübersicht tribologische Versuche

- Rauheit beider Scheiben wichtig für Reibwert des Systems
- Kombination aus öl- und Wasserbasiertem Finish: niedrigste Reibwerte
- Effekt der Oberflächenfunktionalisierung darüber hinaus konnte nicht gefunden werden.



 © MikroTribologie Centrum µTC offen

Fraunhofer KIT
MIKROTRIBOLOGIE CENTRUM µTC

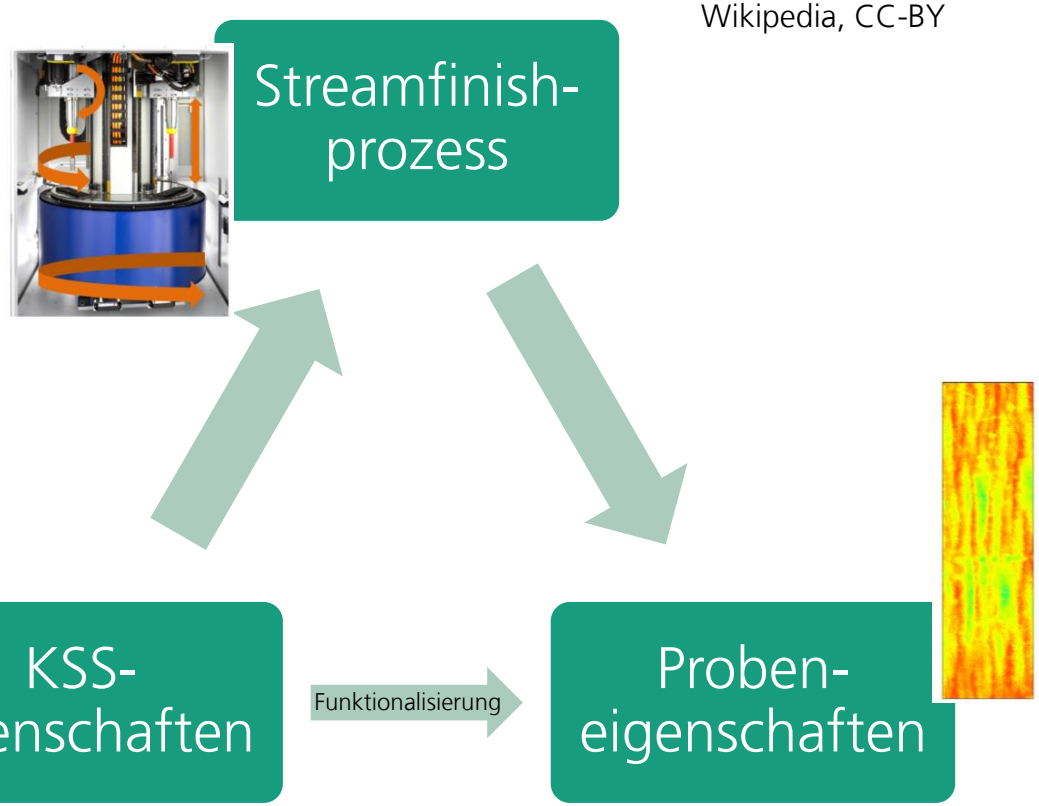
Diskussion

Ansatz Oberflächenfunktionalisierung von Stählen

Bild: Friedrich Karl Mohr, Wikipedia, CC-BY

Spannungsfeld Endbearbeitung – Oberfläche – tribologischer Kontakt

- Änderung der Endbearbeitungsrandbedingungen
  → Änderung des Tribokontakts
  Effekte sichtbar unabhängig von Oberflächenfunktionalisierung
- normalisierter 42CrMo4
  - Abtragsverhalten überwiegt Energieeintrag
  - Sichtbare Effekte durch veränderte Endbearbeitung (nicht Topographieabhängig)
  - indirekte Beeinflussung durch KSS
- einsatzgehärteter 16MnCr5
  - Funktionalisierung reproduzierbar
  - Effekt des Finishprozesses selbst überwiegt die chemische Oberflächenfunktionalisierung



 © MikroTribologie Centrum µTC offen

Motivation im Projekt

chemische Vorkonditionierung von Oberflächen

chemische Vorkonditionierung

Stahl (42CrMo4 → 16MnCr5)

Aluminium (harteloxiert)

OTEC

ML LUBRICATION

GSE GS Electroplating

© MikroTribologie Centrum µTC

Eloxiertes Aluminium

Porenfüllung mit unterschiedlichen Schmierstoffen

Eloxiertes Aluminium AW 6064

- Anodische Oxidation von Aluminium erhöht die Dicke der Oxidschicht auf 12 µm (20 µm)
- Härte ↑
- Oberflächenrauheit ↑
- Porosität ↑

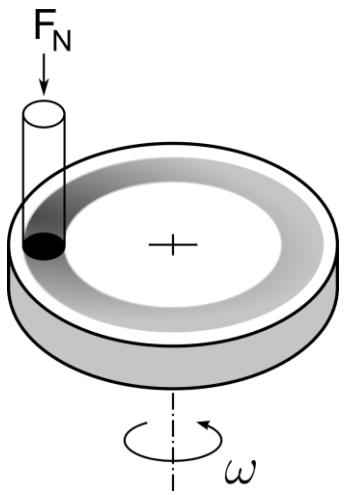
- Porenschließung: Heißdampfnachverdichtung: AlOOH (Volumenvergrößerung)

- Möglichkeit; Stoffe in die Randschicht einzubringen und bei Verschleiß wieder frei zu setzen

 © MikroTribologie Centrum µTC offen

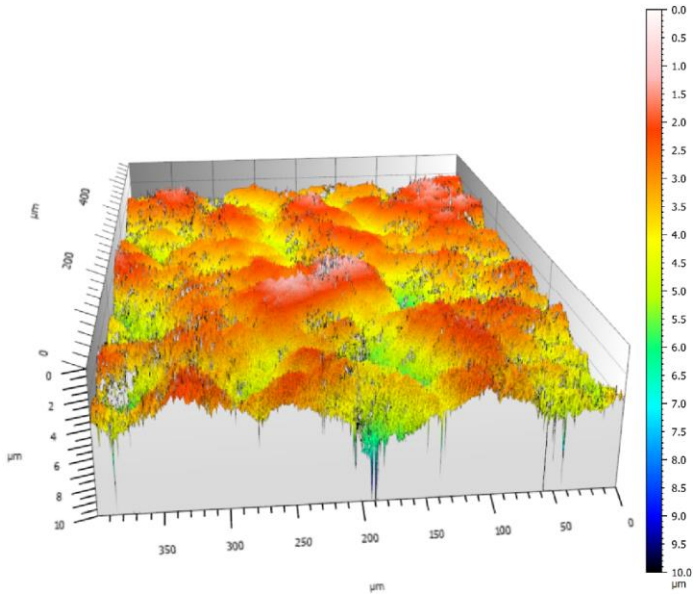
Eloxiertes Aluminium

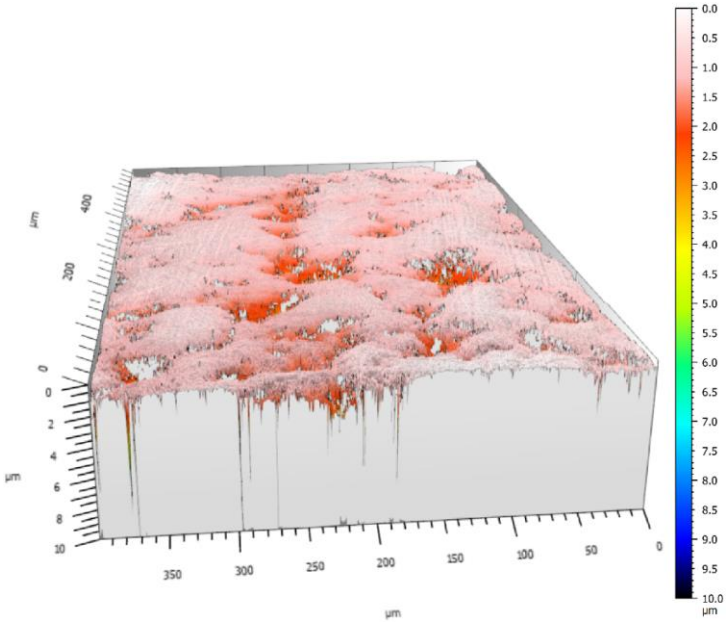
Tribologie



- Durch Oxidation: Rauheitserhöhung
  - glatte Ausgangsqualität nötig
  - Topographischer Einlauf stark ausgeprägt

- Versuche:
- harteloxierte Stifte
- eloxierte Scheiben
- Varianten:
  - Porenfüllung
    - PTFE
    - Bioschmierstoff
  - Referenz (unverdichtet, ungefüllt)
  - Ni-Nachverdichtung
  - Cr-III-Nachverdichtung
  - Heißwasser-Nachverdichtung



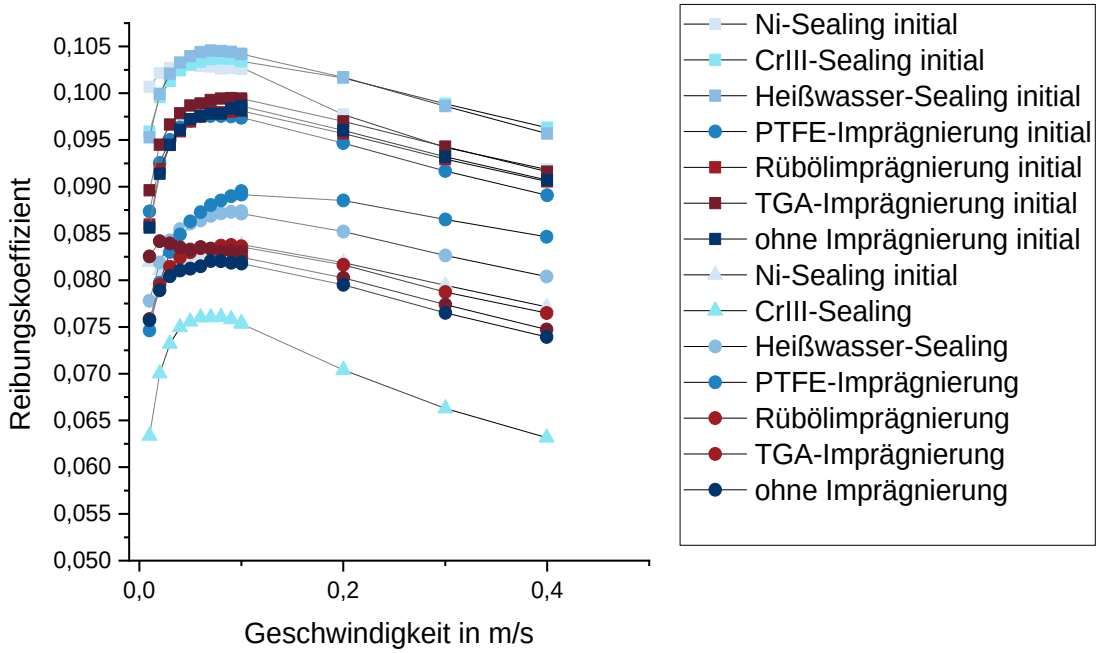


 © MikroTribologie Centrum µTC intern/ offen/ vertraulich

Eloxiertes Aluminium

Ergebnisse und Diskussion

- Topographischer Einlauf dominiert das Reibungs- und Verschleißverhalten
- Keine deutlichen Unterschiede zwischen dem unterschiedlichen Verdichtungsarten messbar
- Stark tribosystemabhängig (Bsp: Bremsflüssigkeit vs. Grundöl)



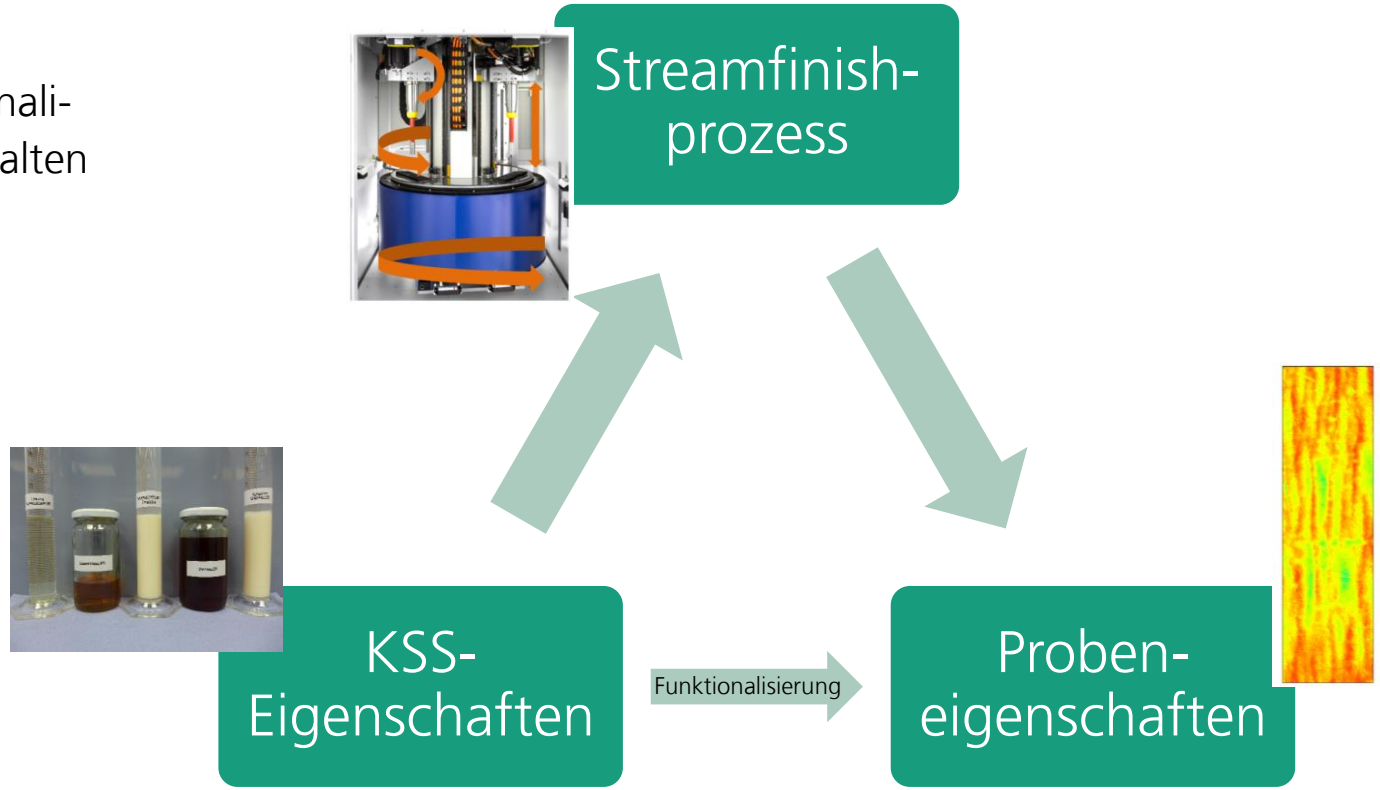
 © MikroTribologie Centrum µTC offen

Fraunhofer KIT
MIKROTRIBOLOGIE CENTRUM µTC

Zusammenfassung

Zugabe der Schmierstoffe während der Endbearbeitung:

- deutliche Effekte auf das tribologische Verhalten
- kein direkter Zusammenhang zur chemischen Funktionalisierung der Oberflächen und dem tribologischen Verhalten
- Effekte stark systemabhängig
  - SST vs. ZSP
  - Aluminium



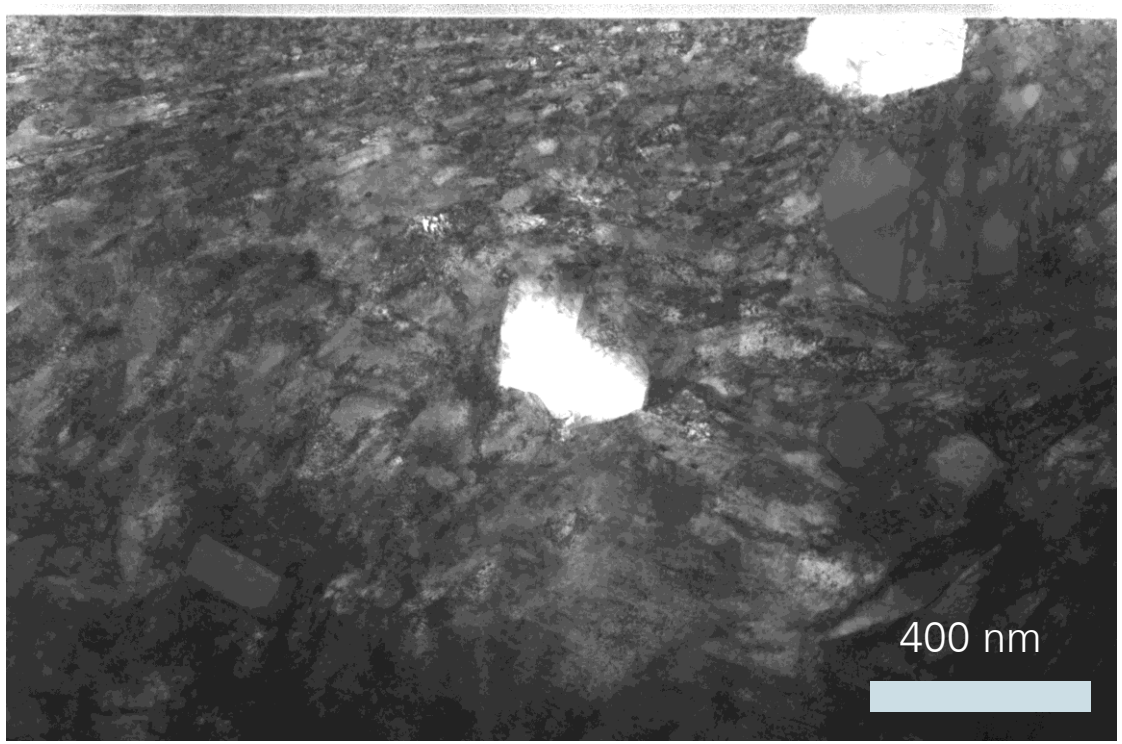
 © MikroTribologie Centrum µTC intern/ offen/ vertraulich

Ausblick
Analytik

Elektronenmikroskopie

Nanoindentation

weitere tribolog. Versuche



 © MikroTribologie Centrum µTC offen

Fraunhofer KIT
Karlsruher Institut für Technologie
MIKROTRIBOLOGIE CENTRUM µTC

Kontakt

Dr. Dominic Linsler
Fraunhofer IWM
MikrotribologieCentrum µTC
Tel. +49 721 204327-18
dominic.linsler@iwm.fraunhofer.de