

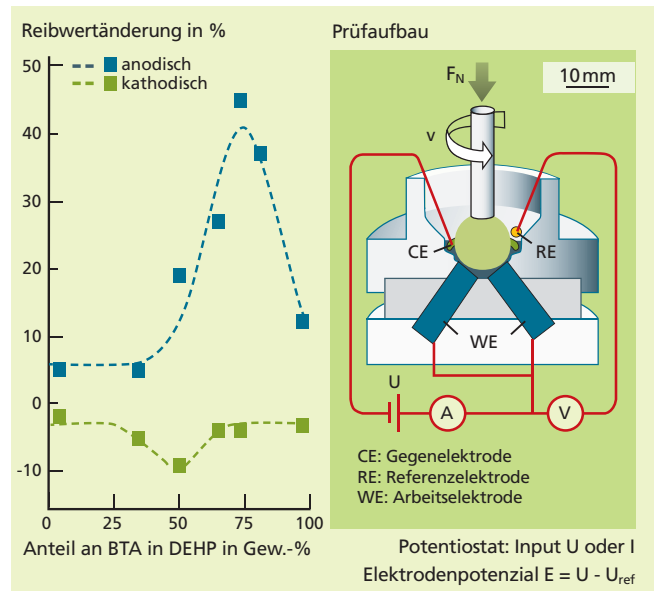
Gruppe

VERSCHLEISSCHUTZ UND TECHNISCHE KERAMIK

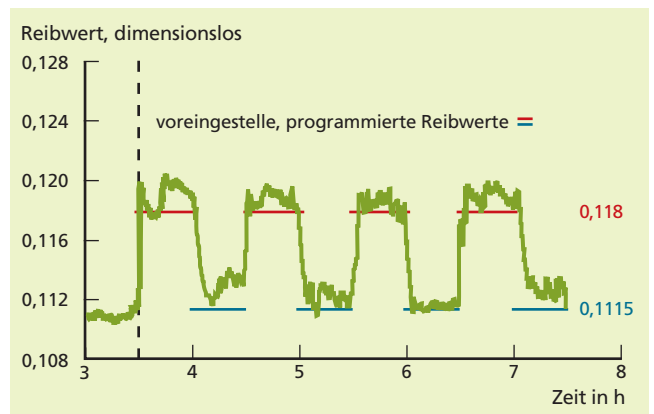
Dr. Andreas Kailer | Telefon +49 761 5142-247 | andreas.kailer@iwm.fraunhofer.de

PROGRAMMIERUNG DES REIBWERTS DURCH ELEKTROCHEMISCHE POTENZIALE

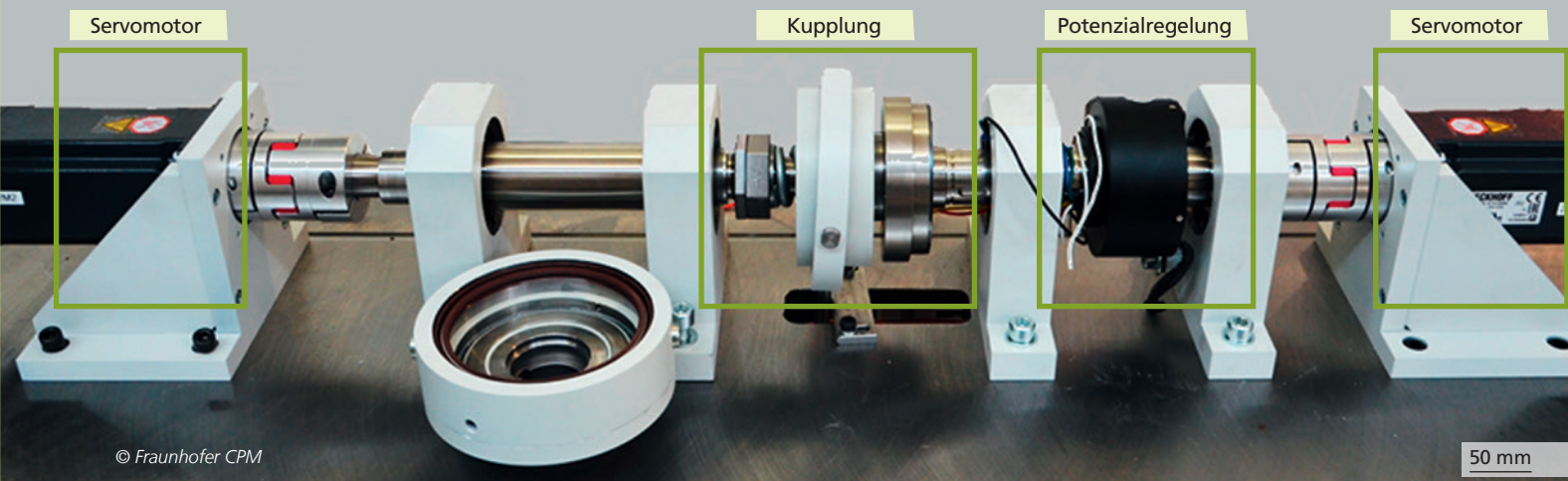
Mechanisch bewegte Teile verursachen Reibung, die Material- und Energieverlust zur Folge haben. Etwa ein Fünftel der weltweit genutzten Energie wird benötigt, um diese Reibung in technischen Einrichtungen zu überwinden. Daher ist Reibung ein Parameter mit großem Einfluss auf Zuverlässigkeit und Lebensdauer von Bauteilen und Systemen. Durch den Einsatz von Schmierstoffen, die nach heutigem Stand speziell und individuell auf ein Reibsystem abgestimmt werden, können Reibung und Verschleiß minimiert und damit auch die Effizienz erhöht werden. Die Beschaffenheit dieser Schmiermittel ist in Bezug auf Viskosität und Additivzusammensetzung auf die vorhandenen Parameter der jeweiligen Anwendung zugeschnitten. Ändern sich diese Parameter, wie Temperatur oder Pressung, wird der optimale Betriebspunkt des Systems verlassen. Durch gezielte Reibungskontrolle könnte das Reibsystem auf sich verändernde Einflüsse reagieren und den optimalen Betriebszustand wieder einregeln. Aus diesem Grund bietet die Reibungssteuerung ein enormes Potenzial bei der Steigerung der Energieeffizienz und wurde 2020 unter anderem von J. Krim als eine der wichtigsten Herausforderungen in der Tribologie identifiziert (Krim, J. et al. Front.Mech.Eng. 5/2; 2020). In wissenschaftlichen Arbeiten wurde der Nachweis der Beeinflussbarkeit des Reibwerts mit unterschiedlichsten Methoden bereits erbracht. Das Ziel der Forschungsarbeiten im Fraunhofer Cluster of Excellence Programmierbare Materialien CPM besteht daher in der automatisierten Anpassung der Reibung bei sich verändernden äußeren Bedingungen. Um dieses Ziel der programmierbaren Reibung zu realisieren, wurde 2018 ein Forschungsteam aus den Fraunhofer-Instituten ICT, IWU und IWM zusammengestellt. Diese institutsübergreifende Zusammenarbeit ermöglichte eine Untersuchung entlang der gesamten Entwicklungskette von den elektrochemischen Grundlagen bis hin zu einem Demonstrator.



1 Reibwertänderung in Abhängigkeit zum IL-Mischungsverhältnis (links); Aufbau des Kugel-3-Stifte Versuchs mit 3-Elektrodenkonfiguration (rechts).



2 Der Reibwert (grün) wird durch den »Tribo-Regler« automatisch auf die Sollwerte (rote und blaue Querbalken) gebracht.



3 Demonstration einer Kupplung mit integrierter Potenzialregelung. Aufbau und Konstruktion erfolgte am Fraunhofer IWU.

Reibwertsteuerung durch Polarisierung

Der Ansatz der elektrischen Reibungssteuerung besteht darin, dass durch die Verwendung von oberflächenaktiven und geladenen, ionischen Flüssigkeiten (ionic liquids, ILs) als Schmierstoff in Kombination mit elektrischen Spannungen die Reibbedingungen im Schmier-spalt reversibel verändert werden können. Dazu wurden tribologische Modellversuche durchgeführt – Abbildung 1 zeigt einen 3-Elektrodenaufbau. Damit können elektrische Potenziale und Ströme gezielt eingestellt und variiert werden. Die beiden als Schmiermittel eingesetzten ILs unterscheiden sich in der funktionellen Gruppe des Anions bei gleichem Kation. Zum einen wurde ein Sulfonylimid-Anion (BTA) und zum anderen ein Phosphat-Anion (DEHP) verwendet. Als Kation wurde jeweils ein Phosphonium-Ion (P66614) eingesetzt. Die ILs wurden nicht nur in reiner Form, sondern auch in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen zueinander eingesetzt. In Abbildung 1 ist die maximale Reibwertänderung der unterschiedlichen ILs auf einen Strom von +300 μA (anodische Oberflächenladung) beziehungsweise -300 μA (kathodische Oberflächenladung) dargestellt. Der elektrische Strom wurde nach einer Einlaufphase von zwei Stunden eingestellt und für eine halbe Stunde gehalten. Die größte Reibwertsteigerung von 45 Prozent konnte bei einem Verhältnis von 3:1 von BTA:DEHP erzielt werden. Eine Reibwertreduktion um 10 Prozent konnte bei einem 1:1 Verhältnis erreicht werden.

Programmierbare Reibung durch »Tribo-Regler«

Durch die Vorarbeiten konnten zur Reibwertsteuerung geeignete IL-Mischungen identifiziert werden. Zusätzlich konnte nachgewiesen werden, dass bei anodischem Potenzial

der Reibwert erhöht und im Gegensatz dazu bei kathodischem Potenzial reduziert wird. Daraus ergibt sich, dass die Reibwertänderung eine Funktion der elektrischen Spannung ist, wodurch Reibwerte durch die Implementierung eines »Tribo-Reglers« automatisch eingestellt werden können. Dieser Regelkreis verbindet das Tribometer und den Potentiostat und regelt das elektrische Signal, um die Reibungskoeffizienten auf vorgegebene Sollwerte einzustellen. Dabei wird der gemessene Reibwert mit dem Sollwert verglichen. Mit dem Potentiostaten wird dann das elektrische Eingangssignal kontrolliert und angepasst, bis der Sollwert erreicht ist. Das Regelsystem kann außerdem die Reibwerte im Zielbereich konstant halten. Mit dieser Entwicklung können voreingestellte Reibwerte reversibel erreicht und gezielt verändert werden (hier: ± 5 Prozent, Abbildung 2).

Bau eines Demonstrators

Parallel zu diesen grundlagenorientierten Modelluntersuchungen wurde am Fraunhofer ICT die elektrochemische Stabilität der ILs nachgewiesen. Die Ergebnisse der Reibwerterhöhung um 45 Prozent führten zum Aufbau eines Kupplungsdemonstrators am Fraunhofer IWU als konkretes Anwendungsbeispiel (Abbildung 3). Das Problem bei geschmierten Kupplungen besteht darin, dass die Kraftübertragung mit der Zeit abnimmt. Durch die Programmierung des Reibwerts auf einen Soll-Bereich kann die Kraftübertragung bei zu starker Änderung durch eine elektrische Spannung wieder auf den optimalen Betriebszustand eingestellt werden.

Felix Gatti, Dr. Tobias Amann