



1

GRÖßERE REICHWEITE UND CO₂-EINSPARUNG FÜR AUTOMOBILE DURCH REDUZIERUNG VON REIBUNG UND VERSCHLEISS

Die Experten von Plasmatechnik und Oberflächen – PLATO – des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Bremen, entwickeln Oberflächenfunktionalisierungen und Beschichtungen von der Grundlagenforschung bis zur Vorserien- und Produktreife. Aktuell werden zur Energieeinsparung im Automobil plasmapolymere Beschichtungen hinsichtlich ihrer reibungsreduzierenden und verschleißmindernden Wirkung auf elastomeren Substraten (»Gummi«) untersucht. Im Antriebsstrang des Automobils geht Bewegungsenergie durch Reibung und Verschleiß verloren. Einen gewissen Anteil am Energieverlust tragen dynamische Dichtungen, die zur Rückhaltung von Schmieröl notwendig sind. PLATO ist es gelungen, eine plasmapolymere Beschichtung auf dem nachgiebigen, viskoelastischen Elastomerwerkstoff nachhaltig zu applizieren (Abb. 1).

Minderung von Reibung und Verschleiß durch plasmapolymere Beschichtungen ...

Das ausgewählte Beschichtungssystem bewirkt eine Reduzierung von Reibung und Verschleiß im trockenen sowie im geschmierten Reibkontakt. Der Reibwert sinkt im trockenen Lauf bei einem Kugel-Ebene-Kontakt von 1,24 eines unbeschichteten Grundwerkstoffs auf ungefähr 0,17 mit plasmapolymere Beschichtung. Durch die Beschichtung lässt sich die trockene Reibung also um 86 Prozent reduzieren (Abb. 2). Dies ist insbesondere für Anwendungen mit hohem Reinheitsgrad von Interesse, bei denen keine Schmiermittel zugelassen sind. Der geschmierte Lauf ist zum Beispiel bei dynamischen Dichtungen im Automobil interessant. Am Modellprüfstand sind mithilfe eines repräsentativen Stift-Ebene-Kontakts ebenfalls Absenkungen durch die Beschichtung festzustellen. Im

ölgeschmierten Zustand zeigen sich bereits in Kombination mit Modellölen Minderungen von 55 Prozent und mit Serienölen mit voller Additivierung von 23 Prozent (Abb. 3). Bei der Nutzung von voll additivierten Serienschmierfetten, wie sie beispielsweise in Kassettendichtung bei Radlagern serienmäßig eingesetzt werden, ermöglicht die Beschichtung Verringerungen im Reibwert von bis zu 71 Prozent (Abb. 3).

Auch der Übergang auf Bauteile ist bereits gelungen: Mithilfe eines Bauteilprüfstands messen die Wissenschaftler auf industriell gefertigten und anschließend im Fraunhofer IFAM beschichteten Dichtungen bereits eine Reibungsminderung von knapp 20 Prozent bei Fett- sowie Ölschmierung.

1 *Auf der Dichtkante plasmapolymere beschichtete Radialwellendichtringe.*

... erzielt höhere Reichweite und weniger Kohlendioxid

Die verminderte Reibung spart Antriebsenergie, reduziert den CO₂-Ausstoß und erhöht die Reichweite bei gleicher Energiereserve, wie Benzin oder Energie aus dem Akku. Zudem lässt sich der Verschleiß selbst im trockenen Lauf durch die Beschichtung im Vergleich zum unbeschichteten Grundwerkstoff drastisch senken. Dies kann eine deutliche Erhöhung der Lebensdauer einer Dichtung und damit einen selteneren Austausch bedeuten. Abbildung 4 verdeutlicht den hohen Verschleißwiderstand und die Belastbarkeit der plasmapolymerten Beschichtung. Während der tribologischen Belastung mit einer Stahlkugel wurde die Probe um etwa 50 Mikrometer eingedrückt. Die nur 1 Mikrometer dünne Schicht hat selbst eine Langzeitbelastung einwandfrei überstanden. Zu sehen ist lediglich ein Druckverformungsrest des elastomeren Grundmaterials.

Maßgeschneiderte Beschichtungen

Um ein Optimum der Reduzierung von Reibung und Verschleiß im speziellen Anwendungsfall der Elastomerreibung einer Dichtung zu erhalten, wird die Beschichtung hinsichtlich der Herstellungsparameter – wie Gasmischungsverhältnis und eingebrachter Leistung – variiert.

Die Charakterisierung der Beschichtungen erfolgt durch ein hochwertiges Prüfsystem zur Messung von Reibung, Verschleiß und Schmierung: Dieses im Fraunhofer IFAM neu zur Verfügung stehende Tribometer ermöglicht es, in oszillierender wie rotierender Bewegung die Reibung und den Verschleiß im trockenen Lauf sowie im geschmierten Zustand bei definierter Temperatur zu ermitteln.

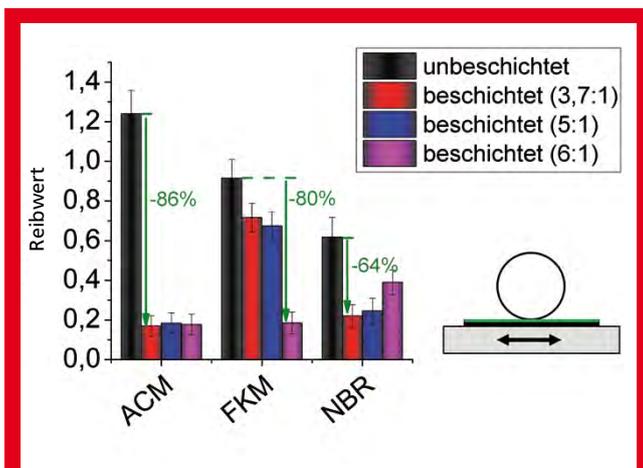


Abb. 2: Trockener Reibwert und Reibminderung von unbeschichteten und beschichteten Elastomeren. Variiert wurde bei der Beschichtung das Mischungsverhältnis O₂:HMDSO. Trockener Lauf, 1,5 MPa initiale Hertz'sche Flächenpressung.

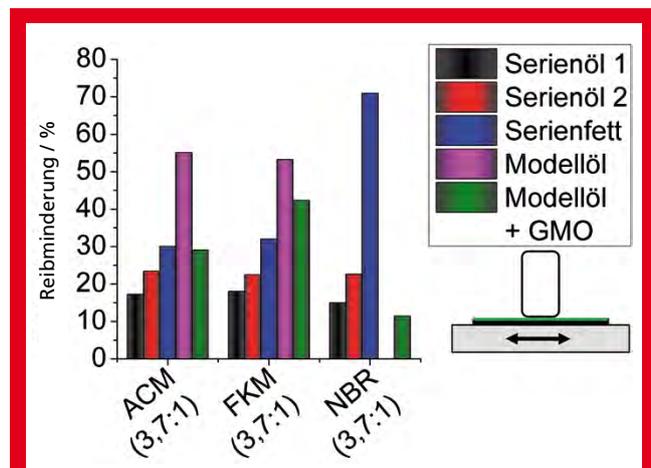


Abb. 3: Reibminderung im geschmierten System unter Verwendung der Beschichtungsvariante mit dem Mischungsverhältnis O₂:HMDSO 3,7:1 auf den verschiedenen Elastomertypen. Geschmierter Lauf, 0,5 MPa initiale Flächenpressung.



Abb. 4: Mit Serienöl geschmierte, beschichtete Elastomerprobe nach Belastungstest (1,5 MPa initiale Hertz'sche Flächenpressung) über circa 785 000 Zyklen (etwa 17,3 km Messstrecke bei oszillierender Bewegung): optisch ist kein Verschleiß feststellbar.

Es zeigt sich, dass für eine Reduzierung von Reibung und Verschleiß das gesamte Zusammenspiel von elastomerem Grundwerkstoff, Beschichtung sowie Schmierstoff zu betrachten ist. Im Falle der Elastomere sind z. B. neben der Härte, das auf die jeweilige Anwendung optimierte Dämpfungsverhalten, die

Zugfestigkeit, Flexibilität, Textur und Oberflächenrauigkeit von Relevanz. Eine besondere Herausforderung an die Beschichtung sowie die entsprechende Prüftechnik ist der nachgiebige Elastomerwerkstoff mit seinem viskoelastischen Verformungsverhalten. Die Beschichtung darf nicht zu steif sein, da sie sonst bricht und in Form von Schollen am Reibkontakt teilnimmt – die Gefahr von erhöhtem Verschleiß besteht. Außerdem ist bei einer zu harten Beschichtung die Dichtigkeit des Dichtelements in der entsprechenden Anwendung gefährdet.

Die PLATO-Wissenschaftler sind über ihre Expertise beim Beschichten von Trennfolien sowie flexiblen Kratzschutz etc. in der Lage, hier eine den speziellen Anforderungen entsprechende Beschichtung herzustellen, die zum einen den Bewegungen des Elastomers folgt, zum anderen aber auch reib- und verschleißärmer als der unbeschichtete Grundwerkstoff ist. Die Zusammensetzung der Beschichtung interagiert zudem chemisch mit den verwendeten Schmierstoffen und deren vielfältigen Additivbestandteilen. Auf Basis bereits gewonnener Er-

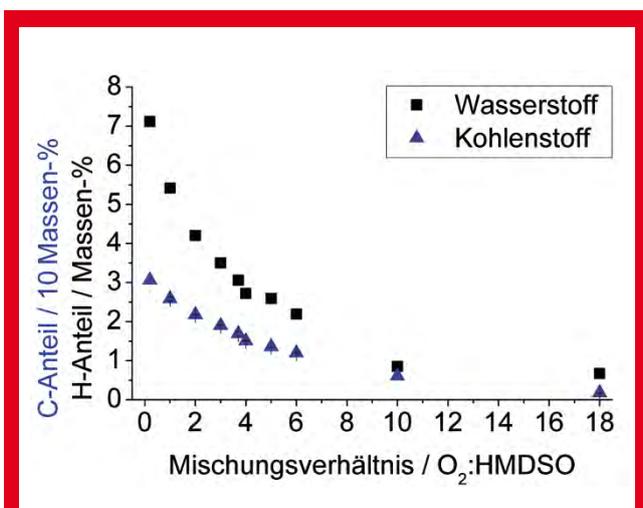


Abb. 5: Kohlenstoff- und Wasserstoffanteil der plasmapolymeren Beschichtung bei Variation des Gasmischungsverhältnisses. Feste Leistung bei 1500 W.

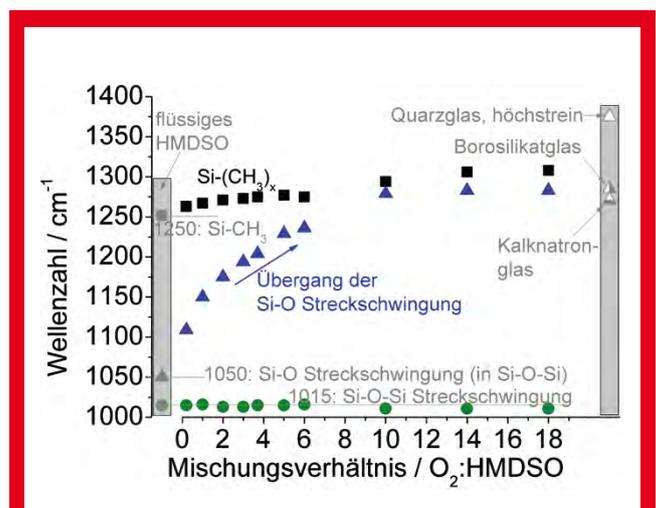


Abb. 6: Peak-Verschiebungen im IR-Spektrum der plasmapolymeren Beschichtung bei Variation des Gasmischungsverhältnisses. Feste Leistung bei 1500 W.

kenntnisse der Schichtzusammensetzung (Abb. 5–7) lassen sich die Beschichtungen für die jeweilige Anwendung maßschneidern.

Die neu im Fraunhofer IFAM verfügbare Messtechnik der Nanoindentierung ermöglicht die Bestimmung des Elastizitätsmoduls sowie der Nanohärte der reinen Beschichtung. Ermittelte Ergebnisse zeigen, dass diese mechanischen Eigenschaften der Beschichtung durch die vorhandenen Variationsmöglichkeiten nach Bedarf einstellbar sind (Abb. 7). Eine höhere Härte kann eine erhöhte Verschleißbeständigkeit bedeuten.

Ausblick

Die Wissenschaftler von Plasmatechnik und Oberflächen zeigen bereits, wie die Beschichtung von Radialwellendichtringen für die Produktion kostengünstig realisierbar ist. Die derzeitige

Entwicklungsarbeit von PLATO besteht darin, den Beschichtungsprozess auf die erforderlichen Stückzahlen aufzuskalieren. Die Gestehungskosten für die Beschichtung werden dank des zugrunde liegenden Beschichtungsverfahrens nur noch einen Bruchteil der Bauteilkosten ausmachen. Aus den umfassenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist ableitbar, welche Schichtzusammensetzung auf dem speziellen Bauteil für einen optimalen Einsatz erforderlich ist. Diese wird im großen Maßstab über die Serie homogen eingestellt.

Auftraggeber

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und vielen Projektpartnern im Rahmen des Förderprogramms »Progressiver Energieeffizienz-Gewinn im Antriebsstrang durch Schichtwerkstoffe und Schmierstoffe« (PEGASUS) unterstützt. Das Förderkennzeichen lautet 0327499A.

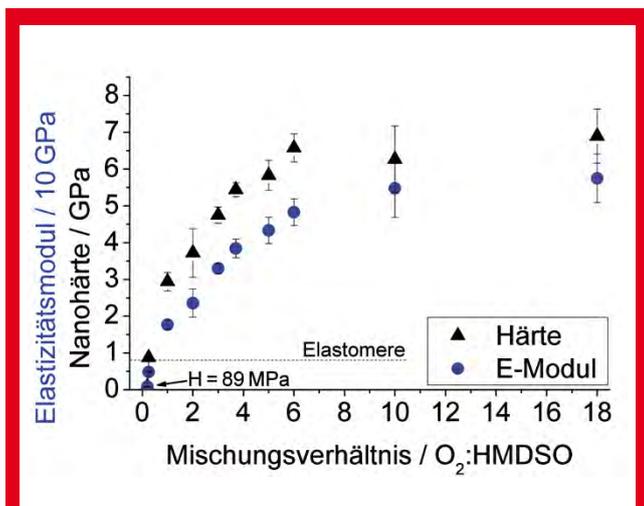


Abb. 7: Elastizitätsmodul und Nanohärte der plasmapolymere Beschichtung bei Variation des Gasmischungsverhältnisses. Feste Leistung bei 1500 W.

KONTAKT

Dr. Dominik Paulkowski
 Plasmatechnik und Oberflächen PLATO
 Telefon +49 421 2246-677
 dominik.paulkowski@ifam.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Klaus Vissing
 Plasmatechnik und Oberflächen PLATO
 Telefon +49 421 2246-428
 klaus.vissing@ifam.fraunhofer.de

Institut

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Klebtechnik und Oberflächen, Bremen