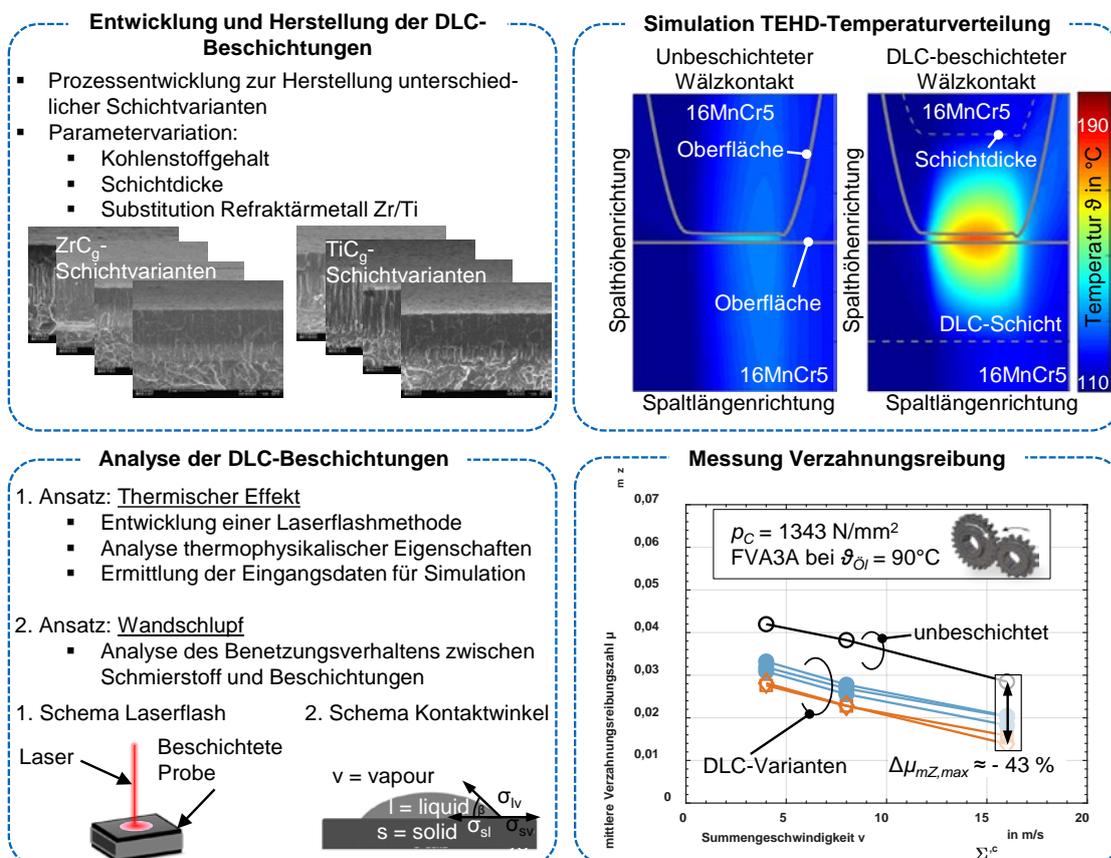


## Reibungsminderung durch Oberflächenbeschichtungen in vollgeschmierten elastohydrodynamischen Kontakten

Die Energieeffizienz von Antriebssystemen kann durch Reduzierung der lastabhängigen Verluste und damit der Reibung in Wälzkontakten deutlich gesteigert werden. Die gezielte Anwendung von Diamond-like Carbon (DLC)-Beschichtungen bietet dabei großes Potenzial. Aus Vorarbeiten ist bekannt, dass mit DLC-Beschichtungen selbst bei Vollschrmerung ohne Berührung der Oberflächen deutliche Reibungsreduzierungen möglich sind, was auf die Reduzierung der Flüssigkeitsreibung zurückzuführen ist.

Ziel des Forschungsvorhabens war es deshalb, die Beeinflussung der Flüssigkeitsreibung durch DLC-Beschichtungen in geschmierten hochbelasteten Wälzkontakten besser zu verstehen und das Potential zur Reibungsreduzierung von Verzahnungen aufzuzeigen. Die Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebekbau (FZG) an der TU München befasste sich mit Modelluntersuchungen am Zweischeibenprüfstand, Komponentenuntersuchungen am FZG-Wirkungsgradprüfstand und mit theoretischen Betrachtungen. Das Institut für Oberflächentechnik (IOT) der RWTH Aachen befasste sich mit der Schichtauslegung, -entwicklung und -herstellung sowie der Analyse der DLC-Beschichtungen hinsichtlich der thermophysikalischen Eigenschaften und des Benetzungsverhaltens.



Das große Potential von DLC-Beschichtungen zur Reibungsreduzierung kann für alle betrachteten Beschichtungen bestätigt werden. Mit polierten beschichteten Prüfscheiben

wurden am Zweischeibenprüfstand Reduzierungen der Reibungszahl von bis zu 36 % und der Massentemperatur von bis zu 41 % gefunden. Messungen mit gleitgeschliffenen beschichteten Zahnrädern zeigten am Wirkungsgradprüfstand Abnahmen der mittleren Verzahnungsreibungszahl von bis zu 43 % und der Zahnmassentemperatur von bis zu 10 %. Auf Basis der experimentellen Untersuchungen zur Ermittlung der Temperaturleitfähigkeiten  $\alpha_T$  mittels Laserflashmethode, spezifischen Wärmekapazitäten  $c_p$ , Dichten  $\rho$  und Wärmeleitfähigkeiten  $\lambda$  wurde der thermische Isolationseffekt der DLC-Beschichtungen nachgewiesen. Demnach wird die Wärmeleitung in den Grundkörper gehemmt, sodass es im Wälzkontakt zu höheren Kontakttemperaturen und gleichzeitig niedrigeren Massentemperaturen kommt. Die höheren Kontakttemperaturen durch DLC-Beschichtungen wurden durch Messungen mit Dünnschichtsensoren bestätigt.

Die Reibungsreduzierung durch DLC-Beschichtungen wird auf die, aufgrund der höheren Kontakttemperaturen bedingte, niedrigere wirksame Schmierstoffviskosität im Wälzkontakt zurückgeführt. Dies bekräftigen im Rahmen der Modellbildung zu beschichteten Wälzpaarungen durchgeführte simulationstechnische und teil-analytische Berechnungen. Die simulationstechnischen Berechnungen umfassen u.a. kontaktauflösende Betrachtungen der Temperaturen, Schmierfilmdicke und Druckverteilung beschichteter Wälzkontakte. Simulierte Reibungskurven zeigen qualitativ und quantitativ sehr gute Übereinstimmung mit gemessenen. Da alle aus gemessenen Reibungskurven abgeleiteten kontaktintegralen Grenzschubspannungen auf sehr ähnlichem Niveau sind, ist nicht von Wandschlupf durch eine veränderte Benetzbarkeit der DLC-beschichteten Oberflächen auszugehen.

Diskrete Beschichtungsvarianten, entwickelt auf Basis von Referenzschichtsystemen, zeigten tendenziell mit steigendem Kohlenstoffgehalt der Decklage eine zunehmend niedrigere Reibungszahl und Massentemperatur. Die Substitution des Dotierungselements von Zr auf Ti im Falle der DLC-Beschichtungen  $ZrC_g$  und  $TiC_g$  zeigte keinen signifikanten Einfluss auf die gemessene Reibungszahl und Massentemperatur. Die Bestimmung des Benetzungs-verhaltens des Schmierstoffs auf den unterschiedlichen Beschichtungen zeigte im Gegensatz zur Korrelation der thermophysikalischen Eigenschaften mit den tribologischen Eigenschaften keinen einheitlichen Ursache-Wirkung-Zusammenhang. Weitere experimentelle Untersuchungen zum Einfluss der Schichtdicke und einseitig beschichteter Wälzpaarungen bestätigten den thermischen Isolationseffekt von DLC-Beschichtungen. Eine Einordnung der gemessenen Reibungsreduzierungen in die gemessenen thermophysikalischen Eigenschaften der DLC-Beschichtungen ist im Vergleich zu den gemessenen Eigenschaften des Stahlsubstrats möglich.

**Autoren:** Martin Ebner  
TU München Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau, FZG

Matthias Thiex  
RWTH Aachen Institut für Oberflächentechnik IOT

**Kontakt:** Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA),  
**Dirk Arnold**  
T 069- 66 03- 16 32

**Das IGF-Vorhaben IGF-Nr. 18490 N der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.**



Gefördert durch:

Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energieaufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

### Hintergrundinformationen zur FVA

Die FVA ist das weltweit führende Innovationsnetzwerk der Antriebstechnik. Die 170 laufenden Projekte der industriellen Gemeinschaftsforschung fördern die Innovationsfähigkeit der Industrie im Bereich der Antriebstechnik und ist an den wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen ein wichtiger Beitrag zur Ausbildung von Jungingenieuren in und für die Branche. Die 207 Mitgliedsfirmen sind produzierende Unternehmen aus der Antriebstechnikbranche. Zusammen mit den über 40 Forschungsinstituten bildet die FVA die Basis für das weltweit führende Netzwerk der Antriebstechnik.

Die FVA versteht sich als eine wichtige Plattform der Kommunikation und des Wissenstransfers zwischen Wissenschaft und Industrie. Themenfelder sind die mechanische und die elektrische bzw. mechatronische Antriebstechnik, sowohl von stationären industriellen Anlagen als auch von Fahrzeugen, mobilen Maschinen und Luftfahrzeugen. Die Gemeinschaftsforschung hat zum Ziel, das technische Know-how der Unternehmen und die Qualität ihrer Produkte zu verbessern und die Produktionskosten zu senken.

Informationsveranstaltungen, Seminare und Tagungen der Forschungsvereinigung bieten den Unternehmen die Möglichkeit, neueste Forschungsergebnisse anzuwenden und Mitarbeiter entsprechend aus- und weiterzubilden.

Weitere Informationen unter [www.fva-net.de](http://www.fva-net.de).