

# Umweltverträgliche Tribosysteme im Blick

## Werkstoffe übernehmen Schmier- und Verschleißschutzeigenschaften

SONDER-  
FORSCHUNGS-  
BEREICHE  
RWTH AACHEN

**R**eibungsbehaftete Kontaktstellen von relativ zu einander bewegten Bauteilen werden Tribosysteme genannt und sind grundsätzliche Bestandteile technischer Geräte. Sie kommen in unterschiedlichsten Ausführungsformen im Maschinenbau zum Einsatz. Dieser ist in der Bundesrepublik Deutschland ein traditionsgemäß starker Wirtschaftsfaktor mit einem hohen Anteil am Export und damit von Innovationen abhängig, bei denen Rohstoffe eingespart und intelligenter eingesetzt werden können.

Die Anwendungen der Tribosysteme liegen sowohl im Bereich der Leistungsübertragung als auch bei den formgebenden Prozessen. Dort tragen sie nicht nur zur Funktionserfüllung bei, sondern beeinflussen signifikant sowohl die ökonomische als auch ökologische Bilanz der technischen Systeme. Diese wird insbesondere durch das hohe ökotoxikologische Gefährdungspotenzial der mineralölbasierten und mit Additiven legierten Zwischenstoffe geprägt. Denn durch Leckagen können die Zwischenstoffe in die Umwelt gelangen und dort zu Schäden führen. Aber auch durch unsachgemäßen Umgang mit den Schmierstoffen im weiteren Sinn werden Verschwendungen von Ressourcen in enormer Höhe verursacht.

Der für den Sonderforschungsbereich daraus abgeleitete Leitgedanke besteht in der Übertragung tribologischer Funktionen von den Fluiden auf die Werkstoffe der Tribopartner. Dies bedeutet, dass biologisch schnell abbaubare und nicht toxische Fluide entwickelt und eingesetzt werden, die nur gering und umweltverträglich additiviert sind. Die dann dem System fehlenden Schmier- und Verschleißschutzeigenschaften müssen von den Materialien der Tribopartner übernommen werden, wozu Verbundwerkstoffe erforscht und entwickelt werden.

### Neue Beschichtungen und Schmierstoffe werden entwickelt

Zur Durchführung der Forschungsaufgaben sind Tribometer entwickelt worden, an denen hoch belastete Kontakte aus Maschinen nachgebildet werden und anhand vereinfachter Modelluntersuchungen analysiert und den Zielen folgend entwickelt werden können. Ein Beispiel ist der in Bild 1 gezeigte Kolben einer Hochdruck-Axialkolbenmaschine. Aufgrund der Querkraftbelastung am Kolben ist dieser hinsichtlich seiner Mikro- und Makrogeometrie neu gestaltet worden, die konturierte Oberfläche ist mit bloßem Auge nicht zu erkennen und verlangt höchste Präzision in der Fertigung. In Bild 2 sind die Ergebnisse interdisziplinärer Forschung am Beispiel der Kolben-Buchse dargestellt. Im Prüfstand sowie im späteren Einsatz im Getriebe wird ein biologisch schnell abbaubares Schmiermittel und Druckübertragungsmedium eingesetzt, das von Wissenschaftlern im Institut für Technische und Makromolekulare Chemie entwickelt wurde. Zum Nachweis der toxischen Unbedenklichkeit ist von den beteiligten Wissenschaftlern vom Institut für Hygiene und Umweltmedizin eine Methodik entwickelt worden.

Ein wesentliches Ergebnis ist in der Entwicklung gradierter Kohlenstoffschichten zu sehen. Hier sind von den Materialwissenschaftlern des Lehrstuhls für Oberflächentechnik im Maschinenbau neue Beschichtungen sowie deren Applikationsprozesse erforscht worden. Sie werden aus der Gasphase auf den Oberflächen abgeschieden, physikalisch vapor deposition, kurz PVD. Diese Schichten zeichnen sich durch eine mit zunehmender Tiefe angepasste Härte aus. Ein Beispiel hierfür sind gradierte Zirkonkarbidschichten, ZrCg. Der Index g steht für die Kohlenstoffgradierung, mit der das gewünschte Eigenschaftsprofil erzeugt wird. Man kann sich den Einlaufvorgang so vorstellen, dass weiche Partikel vom Gegenkörper auf den Grundkörper der im Kontakt stehen-

den Tribopartner übertragen werden. Nach kurzer Einlaufzeit kommt dieser Verschleiß durch zunehmende Schichthärte zum Erliegen und der gewünschte Effekt der Eigenschaftsübertragung von Additiv-Eigenschaften direkt in die Oberfläche des Tribopartner ist gelungen.

Im Betrieb einer Maschine ist von Bedeutung, dass die PVD-Schicht prozesssicher auf dem Bauteil haftet und sich beim Betrieb der Gleitpaarung nicht verbraucht. Ein Einlaufvorgang ist gewollt; er muss jedoch zeitlich begrenzt sein. Die Mikrogeometrie sorgt dafür, dass die Rauigkeitsspitzen in der Oberfläche mit dieser Anforderung in Einklang stehen. Die Makrogeometrie ist dafür verantwortlich, dass maximal zulässige Spannungen zwischen den berührenden Teilen nicht überschritten werden. Hier sind die Wissenschaftler der Ingenieursdisziplinen mit ihren Forschungsarbeiten gefragt.

### Umweltverträglichkeit wird getestet

Im Rahmen der Forschungsarbeiten am Institut für Hygiene und Umweltmedizin ist eine Methodik angepasst worden, die es mit einem schnellen Test ermöglicht, eine Abschätzung der Wirkung der entwickelten Fluide auf menschliche Zellen zu erforschen. Hierzu wird unter anderem der „Comet assay“-Test mit in Kultur gehaltenen Leberzellen durchgeführt, Bild 3. Bei diesem Test werden mit Hilfe einer elektrophoretischen Technik mögliche Schädigungen an der DNA und Reparaturen in einzelnen Zellen detektiert. Die exponierten Zellen werden in eine Gelmatrix eingebunden, die Zellmembran wird zerstört und es erfolgt eine Elektrophorese. Während der Elektrophorese wandert die negativ geladene DNA zum Pluspol. Die geschädigte, bruchstückhafte DNA ist in der Lage, aus dem Zellkern herauszuwandern. Die Bruchstücke trennen sich der Größe nach auf, da kleinere Bruchstücke in bestimmter Zeit eine weitere Strecke zurücklegen als die größeren. Unter dem UV-Mikroskop erschei-

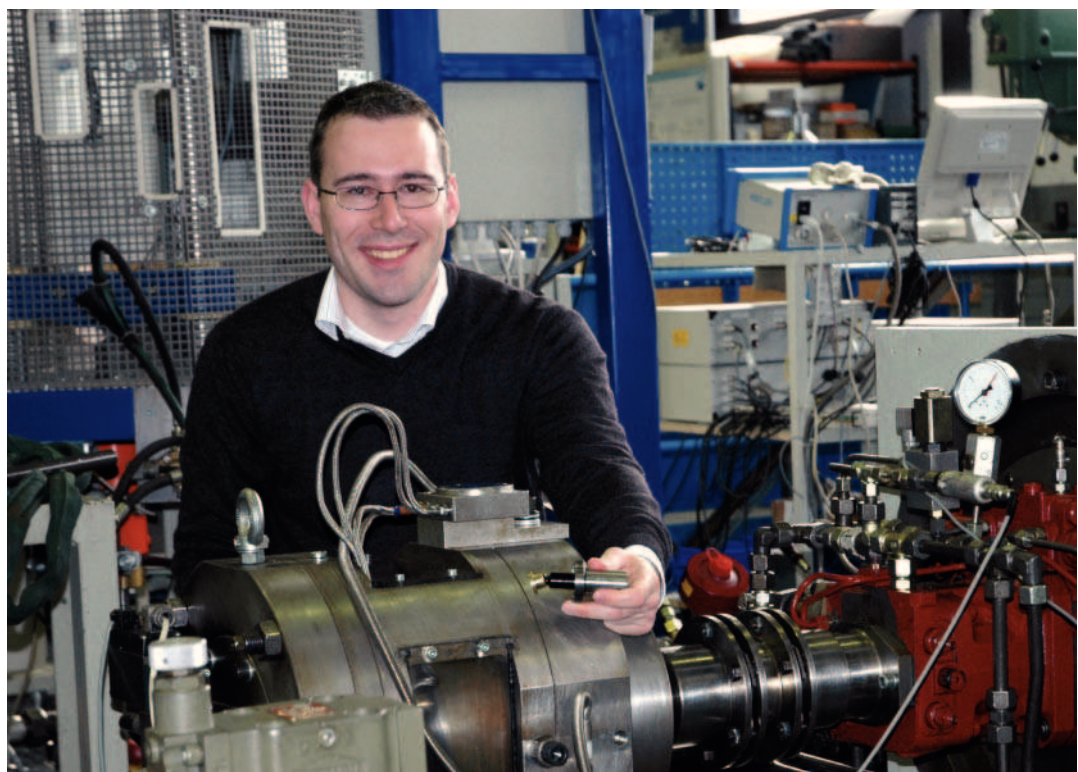
nen die beschädigten Zellen, welche vorher mit einem Fluoreszenzfarbstoff wie Ethidiumbromid behandelt wurden, nun mit einem Schweiß aus DNA-Bruchstücken, welcher ihnen das Aussehen eines Kometen gibt.

Die Leberzellen wurden 24 Stunden gegenüber den wässrigen Eluaten der Schmierstoffe „60.HISM“ und „60.HISM + Additive + Metalle“ exponiert. Es wurde der alkalische Komet-Test bei einem pH-Wert von 13 durchgeführt. Unter diesen pH-Bedingungen können Strangbrüche, Exzisions-Reparaturstellen, alkalilabile Stellen und crosslinks detektiert werden. Zur Überprüfung des Testablaufes wurden bei jedem Test eine Negativ- und eine Positivkontrolle mitgeführt, die die minimale beziehungsweise maximale Wirkung auf die Zelle wiedergeben. Die Testauswertung ermittelt den Olive tail moment, kurz OTM, das heißt das Produkt von Schweiflänge und Schweifintensität des Kometen. Wie in Bild 3 deutlich wird, zeigt das wässrige Eluat von „60.HISM“ keine DNA-schädigende Wirkung bei den Leberzellen, da die Werte nicht signifikant höher sind als die Werte der Negativkontrolle.

Die gleiche Wirkung konnte auch bei „60.HISM + Additive + Metalle“ beobachtet werden. Hier liegen die Werte deutlich unterhalb der Negativkontrolle, damit zeigt das Eluat keine schädigende Wirkung auf die DNA der Leberzellen. Mit diesem Biotest sowie mit weiteren Toxizitätstests konnte die Umweltverträglichkeit der entwickelten Schmierfluide aufgezeigt werden.

Die Beispiele sollen einen kleinen Einblick in Ergebnisse aus den Forschungsarbeiten des Sonderforschungsbereichs ermöglichen. Die noch verbleibende Zeit bis zum Ablauf des Sonderforschungsbereichs im Jahr 2009 wird genutzt, um die Ergebnisse an ganzen Prozessketten aufzuzeigen. Mit diesen Prozessketten sind sowohl Prozesse zur Herstellung von Fluiden, Metallverbunden und solche, die auf Werkzeugmaschi-

Bild 1: Beschichtete Kolben werden im Reibungsprüfstand am Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen getestet. Foto: Institut für Fluidtechnische Antriebe und Steuerungen.



nen ablaufen, gemeint. Zusätzlich werden auch Prozessketten zur Herstellung bestimmter Bauteile wie Zahnräder oder ganze Getriebe sowie der Aufbau und Betrieb eines Alterungsprüfstandes betrachtet. Als Ziel steht ein Expertensystem zur Auslegung umweltverträglicher Tribosysteme zur Verfügung, das den Zugriff auf die Forschungsergebnisse möglich macht, so dass der Sonderforschungsbereich über die Expertise im Umwelt- und Werkstoffforum auch dann weiter lebt, wenn die Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft ausläuft.

<http://www.sfb442.rwth-aachen.de/>

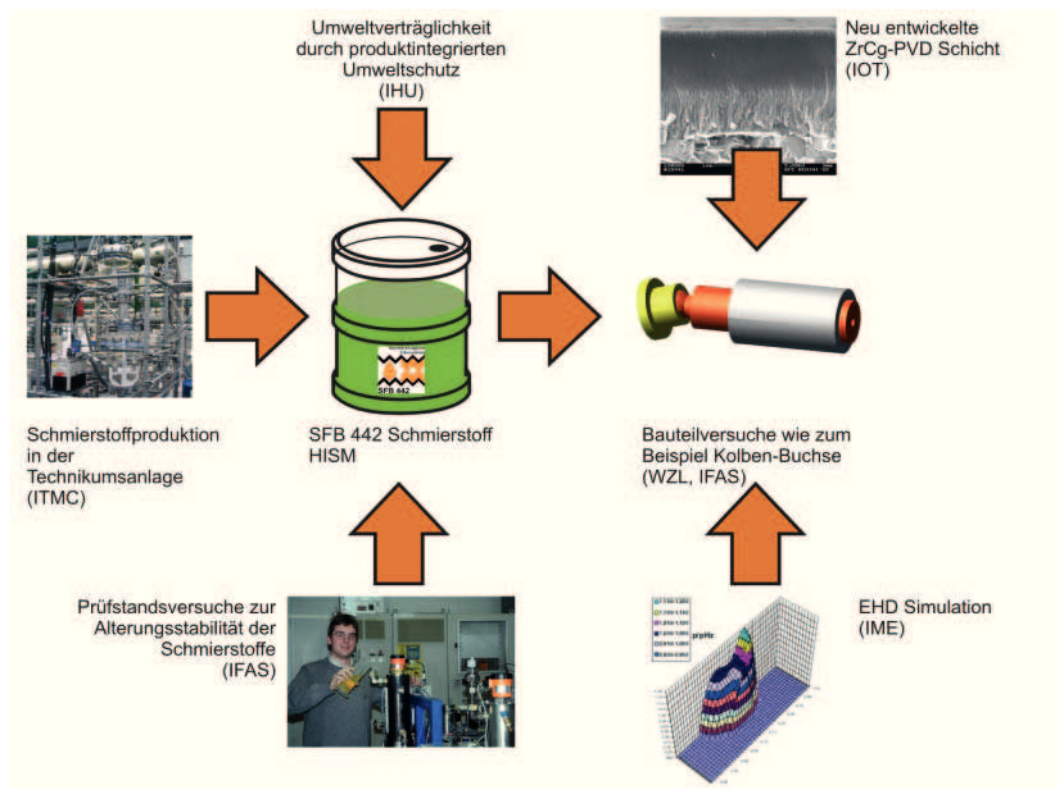
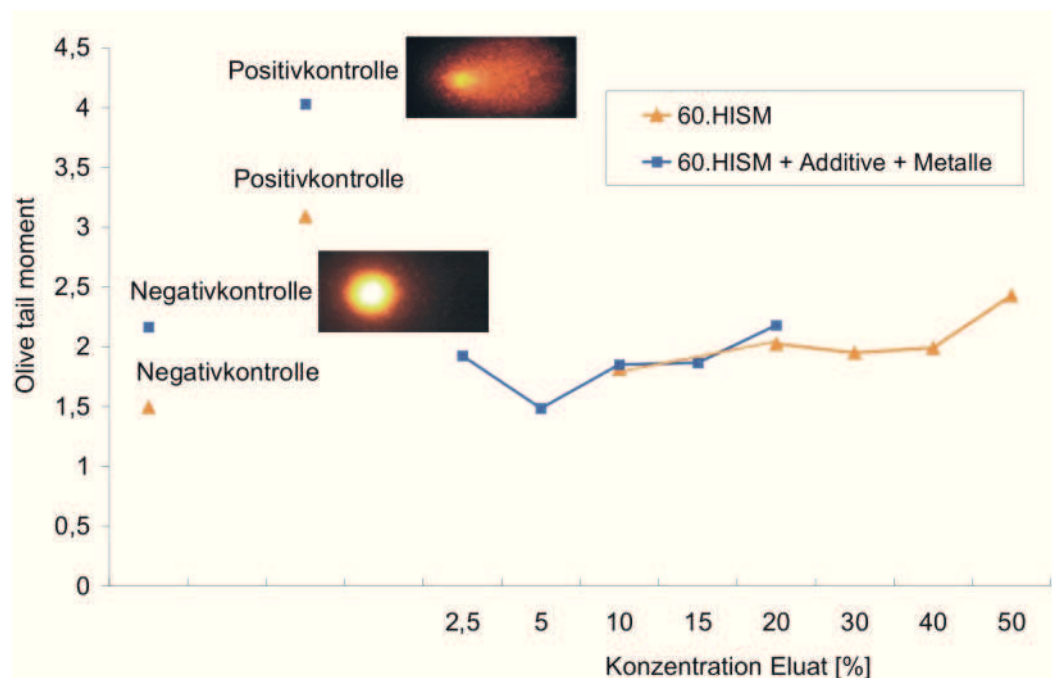


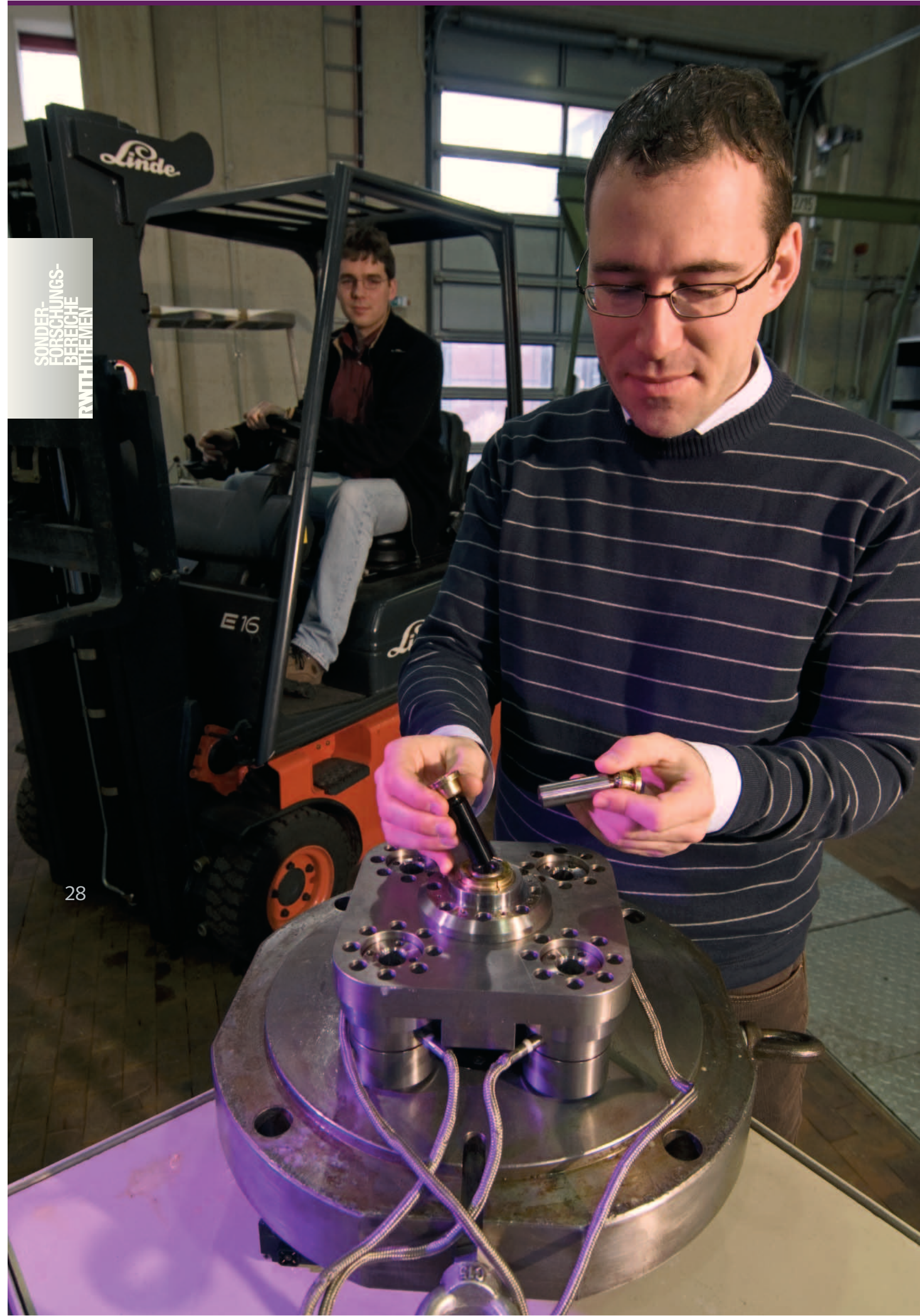
Bild 2: Erzielte Ergebnisse am Beispiel des Tribokontaktes Kolben-Buchse.

Bild 3: Comet assay Test zum Nachweis möglicher Toxizitäten.

**Autor:**  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff ist Sprecher des Sonderforschungsbereichs 442 „Umweltverträgliche Tribosysteme durch geeignete Werkstoffverbunde und Zwischenstoffe am Beispiel der Werkzeugmaschine“ und Leiter des Instituts für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen.









www.sparkasse-aachen.de

SONDER-  
FORSCHUNGS-  
BEREICHE  
RWTHTHEMEN

STANDORT  HIER

Auch kleine Impulse  
haben grosse  
Wirkung.

 Sparkasse  
Aachen

Mit der Initiative „Standort: hier“ unterstützt die Sparkasse Aachen aktiv den Strukturwandel in der Region. Wir fördern die Realisierung innovativer Ideen in technologieorientierten Unternehmen, stellen Wagniskapital bereit und helfen beim Aufbau einer neuen Unternehmenskultur: Mit Projekten wie „Schüler werden Unternehmer“, mit einer intensiven Gründungsberatung, mit dem von uns initiierten Gründerkolleg oder aber mit dem Wettbewerb StartUp.

**Standort: hier – Mit der Sparkasse für die Region.**

*Bild 4: Am Institut für Fluidtechnische Antriebe und Steuerungen werden hydraulische Verdrängereinheiten entwickelt, die sich durch eine sehr gute Umweltverträglichkeit auszeichnen und somit einen unbedenklichen Einsatz in unterschiedlichen Einsatzgebieten ermöglichen.  
Foto: Peter Winandy*