
Name der Forschungsstelle

AiF-Vorhaben-Nr.

Bewilligungszeitraum

Zwischenbericht für den Zeitraum:

(Forschungsstelle von)

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWA über die



geförderten IGF-Forschungsvorhaben

Normalverfahren

Fördervariante ZUTECH

Forschungsthema :

Für ein ZUTECH-Vorhaben sind folgende zusätzliche Angaben zu machen:

Der fortgeschriebene Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

ist beigefügt

liegt bereits vor

wird fristgerecht nachgereicht

Ort, Datum

Unterschrift des Projektleiters

1. Forschungsthema

Einfluss der Schmierstoffbenetzung auf das Triboverhalten PVD-beschichteter Maschinenelemente

Kennwort: Triboverhalten Schmierstoff / PVD-Beschichtung

2. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Die Belastbarkeit von Bauteilen für Maschinen, Anlagen und Fahrzeuge wurde über die Jahre zunehmend gesteigert. Dies war durch Optimierung der Bauteilgeometrie, der Lastverteilung am Bauteil und der Wärmebehandlung möglich. Neben Tragfähigkeit ist Reibminderung und damit der Energieverbrauch einer Maschine oder eines Fahrzeuges sowie die Verringerung des Verschleißes ein wichtiges Auslegungskriterium. Weitere Leistungssteigerungen werden heutzutage durch die konventionell eingesetzten Werkstoffe begrenzt, die weder den steigenden Drücken noch Temperaturen standhalten. Vor allem zunehmend schärfere Umweltgesetze erzwingen jedoch eine weitere Steigerung der Leistungsdichte und gleichzeitig den Verzicht auf Umwelt belastende, schwermetallhaltige Legierungen. Insbesondere in der Motorentechnik kann man beobachten, dass die Umsetzung der EU-Richtlinien zur Reduktion des Schwefelgehaltes in Treibstoffen nur mit modernster Oberflächentechnik realisiert werden konnte. Mittlerweile werden 70% der Bauteile einer Pumpe-Düse-Einheit standardmäßig beschichtet. Will man die gestiegenen Leistungen der Motoren nutzen, benötigt man jetzt Hochleistungsbauteile, die den ebenfalls steigenden Kraftübertrag bei ausreichend kleiner Bauweise gewährleisten.

Nachdem jetzt in der Industrie die wesentlichen Voraussetzungen zur erfolgreichen Beschichtung von Bauteilen in Plasmaprozessen vorhanden sind, treten nunmehr zunehmend Fragestellungen zur Optimierung des gesamten tribologischen Systems in den Vordergrund. Ein wesentlicher Punkt ist dabei die Anpassung der Schmierstoffe an die geänderten Oberflächen.

3. Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

3.1 Forschungsziel

- Bestimmung des Einflusses von Werkstoff- und Schmierstoffpaarung auf Reibung und Verschleiß
- Aussagen zur Zusammensetzung von optimierten Additivpaketen in Verbindung mit PVD-beschichteten Oberflächen

3.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Als wissenschaftlich technische Ergebnisse werden folgende Aussagen erwartet:

- Quantitative Aussagen zum Benetzungsverhalten von verschiedenen unadditivierten und unterschiedlich additivierten Ölen auf verschiedenen Schichten auf der Basis von Kontaktwinkelmessungen
- Quantitative Aussagen zur Reibungszahl von verschiedenen Schichten in Verbindung mit unadditivierten und unterschiedlich additivierten Ölen im Vergleich zu einem Referenzstahl auf der Basis von Messungen am Zweiseibenprüfstand

3.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

- Beitrag zur Weiterentwicklung von Schmierstoffen bei Einsatz in Verbindung mit PVD-Beschichtungen
- Beitrag zur Weiterentwicklung von PVD-Beschichtungen bei Einsatz in Verbindung mit Schmierstoffen
- Energie- und Kraftstoffeinsparung sowie Verschleißminderung

3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Im Zentrum der Untersuchungen stehen die Wechselwirkung zwischen den unterschiedlichen Schichttypen mit diversen unadditivierten und additivierten Schmierstoffen und das daraus resultierende Reibungsverhalten.

- Zunächst werden die gemäß Versuchsplan ausgewählten Schichten auf Prüfkörper des Instituts für Oberflächentechnik (IOT) aufgebracht.
- Die Benetzung der Schichtsysteme mit den Schmierstoffformulierungen gemäß Versuchsplan wird am IOT mittels Kontaktwinkelmessungen quantitativ charakterisiert
- Die sechs Schmierstoffe, die auf Grund der Ergebnisse aus den Kontaktwinkelmessungen das beste Benetzungsverhalten aufweisen, werden für die tribologischen Untersuchungen ausgewählt.
- Neben den Untersuchungen zum Reibungs- und Verschleißverhalten im Modellversuch Ball-On-Disk am IOT
- werden Reibungsmessungen am Zweiseibenprüfstand der Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebbau (FZG) durchgeführt.

Schmierstoffe

Als Schmierstoffe werden für die Untersuchungen folgende Öle eingesetzt:

- Mineralöl
- Synthetischer Schmierstoff (Polyglykol)
- Polyalphaolefin
- Biologisch schnell abbaubarer TMP-Ester

Als Additivpakete sind folgende Additive vorgesehen:

- S-P-Additiv (Standard-Additivtyp für Industrie- und Fahrzeuggetriebe)
- ZDDP (Standard-Additivtyp für Motoren- und Hydrauliköle)
- Mo (löslich) (Sonder-Additivtyp für Fließeinglättung)

Die eingesetzten Schmierstoffe sollen dabei alle der ISO-VG Klasse 32 entsprechen.

Beschichtung

Für die Untersuchungen kommen 3 unterschiedliche Werkstoffverbunde zum Einsatz. Dazu werden am IOT auf Prüfscheiben aus einsetzgehärtetem Stahl vom Typ 16MnCr5E folgende Schichtsysteme appliziert:

- W-C:H : (Me-C:H, kommerziell üblich, Standardschichtsystem)
- ZrCg: (neu entwickelt am IOT, Kombination aus Me-C:H und a:C-H, gradiertes Eigenschaftsprofil, kurz vor der Markteinführung)
- (Cr, Al) N: (neues Schichtsystem, Hartstoffschicht, in der Entwicklungsphase am IOT)

Kontaktwinkelmessung

Bei bekannten (bzw. konstanten) freien Oberflächenenergien eines Festkörpers und einer Flüssigkeit gegenüber Luft kann aus der Messung des Kontaktwinkels die freie Oberflächenenergie des Festkörpers, gegenüber der Flüssigkeit bestimmt werden.

Die Kontaktwinkelmessungen werden für alle Kombinationen der oben genannten Schmierstoffe (mit und ohne Additivierung) und Schichtsysteme, durchgeführt. Als Referenz werden die Schmierstoffe (mit und ohne Additivierung) in Kombination mit dem unbeschichteten Stahl 16MnCr5E untersucht.

Zweiseibenprüfstand mit Prüfscheiben

Am Zweiseibenprüfstand werden Reibungszahlfelder für die unterschiedlichen Schichten in Verbindung mit unterschiedlichen Schmierstoffen bestimmt. Hauptaugenmerk wird dabei auf den Bereich kleiner Schmierfilmdicken bei Grenz- und Mischreibung gelegt.

Aus Reibkraft und Normalkraft kann für jeden Betriebspunkt die Reibungszahl berechnet werden. Für jede Versuchsbedingung erhält man ein Reibungszahlfeld in Abhängigkeit von Summengeschwindigkeit und Schlupf. Für ein Scheibenpaar werden vier Reibungszahlfelder (Variation Hertz'sche Pressung und Öltemperatur) erstellt.

Grundcharakterisierung der Werkstoffverbunde

Begleitend zu den Versuchen zu oberflächenphysikalischen Wechselwirkungen und zum Reibungs- und Verschleißverhalten werden sowohl am IOT als auch an der FZG umfangreiche metallographische und analytische Untersuchungen durchgeführt, die der Charakterisierung der Werkstoffverbunde vor den Versuchen und auch zu typischen Versuchszeiten dienen.

3.3 Erzielte Ergebnisse

Die im Forschungsantrag vorgesehenen Arbeiten zum Erreichen des Forschungsziels wurden planmäßig durchgeführt. Um den Einfluss der Schmierstoffbenetzung auf das Triboverhalten PVD-beschichteter Maschinenelemente zu bestimmen, waren die durchgeführten Arbeiten unbedingt erforderlich. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sind nachfolgend beschrieben. Die im Forschungsantrag für die Durchführung der Arbeiten vorgesehenen Mittel wurden zum Erreichen des Forschungsziels benötigt. Der vorgesehene Zeitplan wurde eingehalten.

Am Zweiseibenprüfstand wurde das Reibungsverhalten der im Forschungsvorhaben zu untersuchenden Öle an unbeschichteten, WC/C-beschichteten sowie CrAlN-beschichteten Scheiben untersucht.

An den unbeschichteten Scheiben werden im Vergleich zum mineralölbasischen Referenzöl FVA2A mit dem Polyalphaolefin PAOA gleicher Additivierung sowie dem unlegierten Polyglykol PG deutlich niedrigere Reibungszahlen bei allen Versuchsbedingungen und einem Schlupf von 10 % erzielt. Der additivierte TMP-Ester TMP3180 erreicht teilweise noch niedrigere Reibungszahlen. Hingegen erhält das Polyglykol PG3580 mit Additiv nur leicht niedrigere Reibungszahlen als das Referenzöl FVA2A. Das Polyalphaolefin PAO3180 mit Additiv zeigt mindestens so hohe Reibungszahlen wie das Polyglykol PG3580 mit Additiv.

Die Beschichtung der Scheiben mit einer WC/C-Schicht führt bei den additivierten Ölen FVA2A, PAOA, PG3580, TMP3180 und PAO3180 bei allen Betriebsbedingungen zu deutlich niedrigeren Reibungszahlen gegenüber den Versuchen mit unbeschichteten Scheiben. Die Reibungszahl des unadditivierten Polyglykols PG hingegen wird durch die Beschichtung der Scheiben mit einer WC/C-Schicht im Vergleich zu unbeschichteten Scheiben nicht verändert.

Die Beschichtung der Scheiben mit einer CrAlN-Schicht zeigt bei allen Versuchen meist ähnliche Reibungszahlen wie bei WC/C-beschichteten Scheiben.

Bei den Scheiben mit der Schicht ZrC_9 kam es bei den sämtlichen durchgeführten Versuchsläufen bereits beim Einlauf zum Abplatzen der Schicht.

4. Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)

4.1 Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse

Eine direkte Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse erfolgt sowohl durch die Beschichter und Schmierstoff- und Additivhersteller als auch durch die Hersteller von Bauteilen mit hoher Leistungsdichte, wie etwa Getriebehersteller. Die gewonnenen Erkenntnisse können auch auf andere Tribosysteme, wie beispielsweise Wälzlager und Pumpen übertragen werden.

Übergreifend ist eine Nutzung in den Fachgebieten Rohstoffe, Werkstoffe, Verfahrenstechnik, Konstruktion, Chemie und Umwelttechnik sowie in den Wirtschaftszweigen Metallherzeugung, Maschinenbau, Fahrzeugbau, sowie Chemische Industrie, Landverkehr und Transport zu erwarten.

4.2 Möglicher Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der KMU

Aufeinander abgestimmte optimierte Schmierstoff- und Schichtsysteme bedeuten niedrigere Kosten

- bei der Herstellung der Schmierstoffe und Schichtsysteme,
- beim Betrieb der Maschinen und Fahrzeuge auf Grund geringerer reibungsbedingter Verluste (Energie- bzw. Kraftstoffeinsparung, geringerer Schmierstoffverbrauch, geringerer Bauteilverschleiß)

Bauteile, für deren Beschichtung das Kosten-Nutzen-Verhältnis bisher zu ungünstig war, können künftig beschichtet werden. Davon werden KMU-Lohnbeschichter und KMU-Teilezulieferer, die Innovationen auf der Basis der Ergebnisse dieses Vorhabens anbieten, profitieren.

5. Beabsichtigter Transfer der angestrebten Forschungsergebnisse

Die Forschungsstellen werden bei der Durchführung des Forschungsvorhabens durch die Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. (EFDS) und von Experten der Industrie (Projektbegleitender Ausschuss) beraten. Die projektbegleitenden Zusammenkünfte, die mindestens zweimal jährlich stattfinden, stellen eine direkte Umsetzung der Erkenntnisse in die Praxis sicher und geben dem Projektbegleitenden Ausschuss die Möglichkeit, auf das Versuchsprogramm in Abhängigkeit von den gewonnenen Zwischenergebnissen Einfluss zu nehmen.

In Transfer-Workshops der EFDS werden die Ergebnisse der Öffentlichkeit vorgestellt und in der Zeitschrift „Vakuum in Forschung und Praxis“ gemäß Vereinbarung der EFDS mit dem Verlag Wiley-VCH sowie weiteren Zeitschriften publiziert. Der EFDS wird ein Poster für die Präsentation auf Workshops, Messen usw. und eine elektronische Vorlage für ein Informationsblatt zur Verfügung gestellt. Ein Abstract und der Abschlussbericht werden auf der Internetseite der EFDS veröffentlicht. Weitere Transfermaßnahmen werden mit dem Transferzentrum Oberflächen- und Schichttechnologien der Forschungsvereinigung EFDS e.V. abgesprochen.

6. Durchführende Forschungsstellen

Forschungsstelle 1: federführend

Institut für Oberflächentechnik

RWTH Aachen

Augustinerbach 4-22

52062 Aachen

Telefon-Nr.: 0241-805329, Telefax-Nr. : 0241-8092264

e-mail: info1@iot.rwth-aachen.de

Leiterin der Forschungsstelle: Prof. Dr.-Ing. K. Bobzin

Projektleiterin: Prof. Dr.-Ing. K. Bobzin

Forschungsstelle 2:

Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau (FZG)

Technische Universität München

Boltzmannstraße 15

85748 Garching

Telefon-Nr. : 089 / 289 – 15807, Telefax-Nr. : 089 / 289 - 15808

e-mail: fzg@fzg.mw.tum.de

Leiter der Forschungsstelle: Prof. Dr.-Ing. B.-R. Höhn

Projektleiter: Dr.-Ing. Klaus Michaelis