

# **Tribologie und Schmierungstechnik**

**5**  
**09**

E 6133

56. Jahrgang

Organ der Gesellschaft für Tribologie  
Organ der Österreichischen Tribologischen Gesellschaft  
Organ der Swiss Tribology

**Metallische  
und polymere Gleitelemente**

**MoS<sub>2</sub>-Schmierung  
für hoch belastete Stützelemente**

**Ultradünne Schichten aus Ethanolamin**

**Brand- und Explosionsschutz an Werkzeugmaschinen**

**Schmierstoffe für die Kaltmassivumformung**

**Request on development of thermo-oxidation  
stability testing**

**On-site Testmethoden und Instrumente  
der modernen Öldiagnostik**





# Tribologie und Schmierungstechnik

Organ der Gesellschaft für Tribologie  
Organ der Österreichischen  
Tribologischen Gesellschaft  
Organ der Swiss Tribology

56. Jahrgang, Heft 5  
September/Oktober 2009



Grafik: Dipl.-Ing. Johannes Wippler

## Zitat

Zusammenkunft ist ein Beginn. Zusammenhalt ist ein Fortschritt. Zusammenarbeit ist ein Erfolg.  
*Henry Ford*

### Kontakte:

#### Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Wilfried J. Bartz  
Telefon (07 11) 3 46 48 35  
Telefax (07 11) 3 46 48 35

Redaktion: Dr. rer. nat. Erich Santner  
Telefon (02 28) 9 61 61 36

Abo-Service: Rainer Paulsen  
Telefon (0 71 59) 92 65-16  
Telefax (0 71 59) 92 65-20

Das Impressum finden Sie in diesem Heft auf Seite 28

## Aus Wissenschaft und Forschung

*F. Franek, A. Pauschitz*  
Metallische und polymere Gleitelemente am Beispiel ausgewählter tribologischer Untersuchungen 5

*T. Gradt, T. Schneider, J. Lingertat, D. Hathiramani, F. Schauer*  
MoS<sub>2</sub>-Schmierung für hochbelastete Stützelemente zwischen supraleitenden Magnetspulen 24

*A. Tomala, N. Doerr, I. C. Gebeshuber*  
Ultradünne Schichten aus Ethanolamin – Energieeffiziente wartungsarme Schmierstoffe 29

## Aus der Praxis für die Praxis

*H. Sefrin*  
Brand- und Explosionsschutz an Werkzeugmaschinen beim Einsatz nichtwassermischbarer Kühlschmierstoffe 33

*K.-D. Nittel*  
Schmierstoffe für die Kaltumformung 37

*L. Petraru, F. Novotny-Farkas*  
Request on development of new thermo-oxidation stability testing for modern turbine oils 42

*D. Kaltenböck, F. Novotny-Farkas*  
On-Site Testmethoden und Instrumente der modernen Öldiagnostik am Beispiel des RULER®-Messgerätes 46

## Schadensanalyse/Schadenskatalog

Kegelrollenlagerring 53

## Handbuch der Tribologie und Schmierungstechnik

8.2.4.4.2 Schmieden 55

Die Autoren wissenschaftlicher Beiträge werden gebeten, ihre Manuskripte direkt an den Herausgeber zu senden (siehe Seite 54)

*Authors of scientific contributions are requested to submit their manuscripts directly to the editor, Prof. Bartz (see p. 54)*

## Magazin

Neue Produkte und Verfahren 2

## Nachrichten

Mitteilungen der GfT 51

## Materialien

Produktion von Ölen und Fetten 3

Veranstaltungen 50

Hinweise für Autoren 54

Normung 57

## Bezugsquellen

Alles für die Schmierungstechnik 62

## Aus der Redaktion

Ihre Mitarbeit in *Tribologie und Schmierungstechnik* ist uns sehr willkommen!

Falls Sie eine Veröffentlichung wünschen, bitten wir Sie, uns die Daten auf einer CD, zur Sicherheit aber auch als Ausdruck (bitte zweifach), zur Verfügung zu stellen. Schön ist es ferner, wenn die Bilder durchnummeriert und bereits an der richtigen Stelle platziert sowie mit den zugehörigen Bildunterschriften versehen sind. Da wir auf die Einheit von Text und Bild großen Wert legen, bitten wir, im Text an geeigneter Stelle einen sogenannten (fetten) Bildhinweis zu bringen. Das Gleiche gilt für Tabellen. Auch sollten die Tabellen unsere Art des Tabellenkopfes haben.

Die Artikel dieses Heftes zeigen Ihnen, wie wir uns den Aufbau Ihres Artikels vorstellen. Vielen Dank.

**Bitte lesen Sie dazu auch unsere ausführlichen „Hinweise für Autoren“ (Seite 54).**

*Aktuelle Informationen über die Fachbücher zum Thema „Tribologie“ und über das Gesamtprogramm des expert verlags finden Sie im Internet unter [www.expertverlag.de](http://www.expertverlag.de)*



diese nur geringe gerade Riefen und ansonsten keinen Verschleiß zeigt. Trotz der hohen Beanspruchung sind die Drehriefen noch zu erkennen, und es fehlen jegliche Hinweise auf eine Zerstörung der PVD-MoS<sub>2</sub>-Schicht. Auf den Fotos der Countersides (**Bilder 10a** und **b**) ist zu erkennen, dass die gesprayte Schicht blasenförmig abgehoben und teilweise nicht mehr vorhanden ist. Dieses blasenförmige Ablösen der Schicht findet sich in unterschiedlicher Ausprägung auf allen beanspruchten Countersides, auch auf denen der LN<sub>2</sub>-Versuche. Schichtablösung allein kann daher nicht die alleinige Erklärung für den Stick-Slip-Effekt sein. Vergleichstest mit unbeschichteten Countersides zeigen diesen Effekt allerdings nicht. Daher ist die Ursache dafür sicher in der gesprayten Schicht zu suchen. Eine plausible Erklärung steht jedoch noch aus und kann möglicherweise durch weitere Untersuchungen an Modell-Systemen und mit der Kryo-Vakuum-Apparatur gefunden werden. Zur Aufklärung beitragen könnte, dass dann auch Temperaturen zwischen 4 und 77 K eingestellt werden können.

## 5 Zusammenfassung

Um das tribologische Verhalten von MoS<sub>2</sub>-Schmierung für Engstellenstützen (NSEs) zwischen den supraleitenden Spulen des Kernfusionsexperiments Wendelstein 7-X zu untersuchen, wurden Experimente an her-

unterskalierten Proben in Originalgeometrie durchgeführt. Im Betrieb befinden sich die NSEs im Hochvakuum bei einer Temperatur von etwa 4 K, so dass nur trocken reibende Tribosysteme eingesetzt werden können. Untersucht wurde ein Reibsystem aus einer PVD-MoS<sub>2</sub>-Schicht auf einem Al-Bronze-Substrat gegen einen aufgesprayten MoS<sub>2</sub>-Film, das bei reversierender Gleitreibung in Flüssigstickstoff bei 77 K und Flüssighelium bei 4,2 K getestet wurde.

Bei 77 K in Flüssigstickstoff zeigte diese Kombination ein sehr stabiles Reibverhalten mit einer typischen Reibungszahl von 0,03, ohne dass es bei Langzeittests zu Schichtversagen kam.

Bei der tiefsten Temperatur, 4,2 K in Flüssighelium, trat jedoch ein unerwarteter Stick-Slip-Effekt auf. Zur Aufklärung dieses Verhaltens und um Tests unter realitätsnahen Vakuum-Bedingungen durchführen zu können wird die Versuchsapparatur für Messungen im Hochvakuum bei tiefen Temperaturen umgerüstet

## 6 Dank

Die Autoren danken den Herren O. Berndes und M. Heidrich (BAM-VI.2) für die Mitarbeit beim Aufbau der Apparatur und Durchführung der Experimente sowie Frau S. Bin-

kowski (BAM-VI.2) für die Fotoarbeiten. Das Projekt wurde finanziell durch das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) gefördert. Für die Mitbenutzung von Apparaturen und Laborräumen sowie die problemlose Kältemittelversorgung danken wir dem Tieftemperaturlabor am Fachbereich Physik der Freien Universität Berlin.

## 7 Literatur

- [1] Wanner, M. et. al., Design and construction of WENDELSTEIN 7-X. Fusion Engineering and Design 56-57 (2001) 155-162
- [2] Gasparotto et. al., The WENDELSTEIN 7-X mechanical structure support elements: Design and tests, Fusion Engineering and Design 74 (2005) 161-165
- [3] Roberts, E.W.: Thin Solid Lubricant Films in Space, Tribol. Int. 23 (1990) 95-104
- [4] Th. Gradt, K., Abmus, Tribological behaviour of solid lubricants at low Temperatures; Proc. 21st Int. Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 21), July 17-21, 2006, Praha, Czech. Rep. (ISBN 978-80-239-883-3), 173-176
- [5] F. Koch, R. Nocentini, B. Heinemann, S. Linding, P. Junghans, H. Bolt, MoS<sub>2</sub> Coatings for the Narrow Support Elements of the W-7X Nonplanar Coils, Fusion Eng. Design 82 (2007) 1614-1620
- [6] J. Lingertat, Th. Gradt, D. Hathiramani, P. Junghans, M. Laux, K. Meine, F. Schauer, Th. Schneider, Tribological performance of MoS<sub>2</sub> coatings at T=4K and high loads, 25th Symposium on Fusion Technology, 15-19 Sept. 2008, Rostock, Germany

# Tribologie und Schmierungstechnik

Organ der Gesellschaft für Tribologie  
Organ der Österreichischen  
Tribologischen Gesellschaft  
Organ der Swiss Tribology

56. Jahrgang  
September/Oktober 2009

## Impressum

### Herausgeber und Schriftleiter:

Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Wilfried J. Bartz,  
Mühlhaldenstr. 91, 73770 Denkendorf,  
Tel./Fax (07 11) 3 46 48 35, E-Mail:  
wilfried.bartz@tribo-lubri.de, www.tribo-lubri.de.

### Redaktion:

Dr. rer. nat. Erich Santner (verantwortl.), Bonn  
Telefon (02 28) 9 61 61 36, E-Mail: esantner@arcor.de.

Prof. Dr. Günter Springer, Stuttgart,  
Telefon (07 11) 7 26 13 63, Telefax (07 11) 7 28 81 89.

Redaktionssekretariat: expert verlag,  
Tel. (0 71 59) 92 65 - 0, Fax (0 71 59) 92 65 - 20.  
Beiträge, die mit vollem Namen oder auch mit Kurzzeichen des Autors gezeichnet sind, stellen die Meinung des Autors, nicht unbedingt auch die der Redaktion dar. Unverlangte Zusendungen redaktioneller Beiträge auf eigene Gefahr und ohne Gewähr für die Rücksendung. Die Einholung des Abdruckrechtes für dem Verlag eingesandte Fotos obliegt dem Einsender. Die Rechte an Abbildungen ohne Quellenhinweis liegen beim Autor

oder der Redaktion. Ansprüche Dritter gegenüber dem Verlag sind, wenn keine besonderen Vereinbarungen getroffen sind, ausgeschlossen. Überarbeitungen und Kürzungen liegen im Ermessen der Redaktion. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen und Handelsnamen in dieser Zeitschrift berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Namen ohne Weiteres von jedermann benutzt werden dürfen. Vielmehr handelt es sich häufig um geschützte, eingetragene Warenzeichen. Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung des Verlags strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

### Verlag:

expert verlag, Postfach 2020,  
71268 Renningen  
Landesbank Baden-Württemberg  
Kto.-Nr. 8 953 692, BLZ 600 501 01  
Postbank Stuttgart  
Kto.-Nr. 22 546 707, BLZ 600 100 70  
USt.-IdNr.: DE 145162062

### Beirat:

Prof. Dr. F. Franek, Wien; Prof. Dr. Ing. E. Gülker, Dortmund; Dipl. Ing. W. Westerbecke, Moers; Dr. Ing. E. Kleinlein, Gochsheim; Dr. Horst Kröner, Dortmund; Dr. U. J. Möller, Hamburg; Prof. Dr. Ing. H. Pecken, Aachen.

### Anzeigen:

Rainer Paulsen, expert verlag, Tel. 071 59-92 65-16, Fax 071 59-92 65-20; Anzeigensatzspiegel 250x175 mm,

4 Spalten-Einteilung (je 42 mm breit). Die einspaltige mm-Zeile kostet 1,40 €, bei Gelegenheitsanzeigen 1,68 €; bei Stellengesuchen 1,12 €; zuzüglich Mehrwertsteuer. Nachlaß und sonstige Bedingungen laut Preisliste 40. Anzeigenschluss ist der 1. jedes ungeraden Monats.

### Vertrieb:

Gesamtleitung: Rainer Paulsen, expert verlag,  
Tel. (0 71 59) 92 65 - 16, Fax (0 71 59) 92 65 - 20  
Die zweimonatlich erscheinende Zeitschrift kostet bei Vorauszahlung im Jahresvorzugspreis für Inland 179,- €; für Ausland 186,- €. Einzelheft 39,- € zuzüglich Versandkosten; Studenten und persönliche Mitglieder der GfT erhalten gegen Vorlage eines entsprechenden Nachweises einen Nachlass von 20 % auf das Abo-Netto. Für Mitglieder der ÖTG ist der Abonnementspreis im Mitgliedschaftsbeitrag enthalten. Die Abonnementsgebühren sind jährlich im Voraus bei Rechnungsstellung durch den Verlag ohne Abzug zahlbar; kürzere Rechnungszeiträume bedingen einen Bearbeitungszuschlag von 3,- € pro Rechnungslegung. Abbestellungen gelten nur zum Ende des berechneten Bezugsjahres und müssen spätestens sechs Wochen vorher schriftlich vorliegen. Der Bezug der Zeitschriften zum Jahresvorzugspreis verpflichtet den Besteller zur Abnahme eines vollen Jahrgangs. Bei vorzeitiger Beendigung eines Abonnementauftrags wird der Einzelpreis nachbelastet. Bei höherer Gewalt keine Lieferungspflicht. Erfüllungsort und Gerichtsstand: Leonberg

expert verlag, 71272 Renningen

ISSN 0724-3472

5/09



# Ultradünne Schichten aus Ethanolamin – Energieeffiziente wartungsarme Schmierstoffe

von A. Tomala, N. Doerr, I. C. Gebeshuber<sup>\*)</sup>

Eingereicht: 1. 1. 2009

Nach Begutachtung angenommen: 17. 4. 2009

## Kurzfassung

Ethanolamine finden in der Tribologie als antikorrosive Additive bei der Metallbearbeitung und als Kühlschmierstoff Verwendung. Das Ziel dieser Studie ist eine experimentell untermauerte Theorie der Schmiereigenschaften von Ethanolaminen vom Nano- über den Mikro- in den Makrobereich. Drei verschiedene Ethanolaminoligomere (Mono-, Di- und Triethanolamin) wurden mit drei verschiedenen Methoden untersucht: Kugel-Scheibe-Tribometer (makroskopisch), Mikrotribometer (mikroskopisch) und Rasterkraftmikroskop (nanoskopisch). Bei allen drei Untersuchungsmethoden zeigt sich oligomer spezifische Schmierung: Monoethanolamine erweisen sich als die besten Schmierstoffe unter den untersuchten Bedingungen. Diethanolamin bewegt sich im Mittelfeld, und Triethanolamin reduzierte die Schmierung am wenigsten. Rasterkraftspektroskopische und photoelektronenspektroskopische Untersuchungen unterstützen diese Ergebnisse: Die Abrisskraft ist bei Monoethanolamin am geringsten. Die Erklärung dafür ist, dass die Oberflächenenergie durch die Additive erhöht wird und deswegen die drei Oligomere, die ja verschiedene Anzahl an Hydroxylgruppen haben, verschieden stark binden.

**Schlüsselwörter:** Additive, Ethanolamine, Kugel-Scheibe-Tribometer, Mikrotribometer, Nanotribologie, Oligomerspezifische Schmierung, Photoelektronenspektroskopie, Rasterkraftmikroskopie.

**Keywords:** Additives, atomic force microscopy, ball-on-disk tribometer, ethanolamines, microtribometer, nanotribology, oligomer specific lubrication, photoelectron spectroscopy.

<sup>\*)</sup> MSc. Agnieszka Tomala  
Institut für Allgemeine Physik, Technische Universität Wien, 1040 Wien, Österreich  
Dipl.-Ing. Dr. techn. Nicole Doerr  
AC<sup>2</sup>T research GmbH – Österreichisches Kompetenzzentrum für Tribologie, 2700 Wiener Neustadt, Österreich  
Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ilse C. Gebeshuber  
Institut für Allgemeine Physik, Technische Universität Wien, 1040 Wien  
AC<sup>2</sup>T research GmbH – Österreichisches Kompetenzzentrum für Tribologie, 2700 Wiener Neustadt, Österreich  
TU BIONIK, TU weites Kooperationszentrum für Bionik/Biomimetics, Getreidemarkt 9/166, 1040 Wien, Österreich  
Institute of Microengineering and Nanoelectronics (IMEN), Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM, Bangi, Selangor, MY

## 1 Einleitung

Ethanolamine (Bild 1) sind wasserlösliche Additive. Nanotribologische Untersuchungen mit dem Rasterkraftmikroskop an ultradünnen Schichten aus Mono-, Di- und Triethanolamin machen deutlich, dass Ethanolamine oligomerspezifische Schmiereigenschaften aufweisen. Photoelektronenspektroskopische Untersuchungen zeigen oligomerspezifische Unterschiede in der Chemisorption der Moleküle an der Oberfläche (Kupfer). Mikrotribologische und „Ball-on-Disk“ Experimente an Ethanolaminen zeigen ebenfalls oligomerspezifische Schmiereigenschaften. Das Ziel dieser Studie ist eine experimentell untermauerte Theorie der Schmiereigenschaften von Ethanolaminen vom Nano- über den Mikro- in den Makrobereich. Ethanolamine werden als Reinigungssubstanzen verwendet. In der Tribologie finden sie als antikorrosive Additive bei der Metallbearbeitung und als Kühlschmierstoff Verwendung. Auf Kupfer, Stahl und Silizium bilden sie self-assembled monolayers verschiedener Qualität (d.h. es bestehen Unterschiede im Bedeckungsgrad).

## 2 Materialien und Methoden

### 2.1 Nanoskalig: Rasterkraftmikroskop

Siliziumwafer wurden mit einer dünnen Kupferschicht (ca. 150 nm) besputtert (Plasmasputtering, Eisenmenger-Sitter, Institut für Festkörperphysik, TU Wien).

Kontrollexperimente wurden in doppel destilliertem Wasser durchgeführt. Anschließend wurden Mono-, Di- oder Triethanolamine in Wasser gelöst (Konzentration 250 ppm) und mit einer Glasspritze durch die Luer Fittings in die geschlossene Flüssigkeitszelle des Rasterkraftmikroskopes eingebracht. Das verwendete Rasterkraftmikroskop ist ein MFP-3D mit top-view Optik (Asylum Research, Santa Barbara, CA, USA). Die verwendeten Cantilever sind aus Siliziumnitrid, die Federkonstante beträgt 0.001 N/m,  $f_{res} = (4-10)$  kHz. als Feedbackkraft wurden 3.3 nN gewählt. Die Experimente wurden im Kontaktmodus durchgeführt; der Rasterwinkel

## Abstract

Ethanolamines are used in tribology as anti-corrosion additives and as cutting fluids in metal working. Goal of the present study was an experimentally based theory of the lubricating properties of ethanolamines from the nano- via the micro- to the macroscopic scale. The different ethanolamine oligomers (monoethanolamine, diethanolamine and triethanolamine) were investigated with three different methods: ball-on-disk tribometer (macroscale), microtribometer (microscale) and atomic force microscopy (nanoscale). In all three experimental methods lubrication is oligomer specific: at the given experimental situation, monoethanolamines prove to be the best lubricants, diethanolamines are less effective, and triethanolamines are the least effective in reducing friction. Force spectroscopy and photoelectron spectroscopy investigations corroborate these results: the smallest pull-off force occurs for monoethanolamines. The explanation for this is that the additives increase the surface energy and therefore the three oligomers with their different numbers of hydroxyl groups have different binding strengths.

betrug 90 Grad, damit das Reibsignal aufgezeichnet werden kann.

Die Reibkraftwerte [1] wurden zuerst unter Wasser an den ungeschmierten Kupferplättchen ermittelt, dann in der Ethanolamin-Wasser Umgebung. Die Messungen in der Ethanolamin-Wasser Umgebung wurden frühestens 20 Minuten nach dem Einbringen der Oligomere gestartet – damit bestand genug Zeit zur Schichtformierung an der Kupferoberfläche.

Bei den rasterkraftspektroskopischen Untersuchungen an den Ethanolaminen betrug der Cantileverweg zwei Mikrometer.

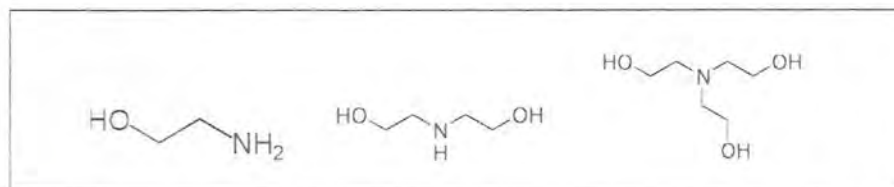


Bild 1: Mono-, Di- und Triethanolamin.



**2.2 Mikroskalig: Mikrotribometer**

Bei den Experimenten mit dem FALEX-MUST 2D-FM Mikrotribometer (Bild 2) wurde eine 100Cr6-Stahlkugel (Durchmesser 3 mm) verwendet. Die Last betrug zwischen 1 mN und 1N. Die Stahlkugel ist auf den 2-D Kraftüberträger geklebt, zwei Faser-optiksensoren (FOS, Bild 2) messen die Normal- und die Tangentialkraft. Die Kugel bewegt sich gegen die Probe mit einer Ge-

schwindigkeit von 5 mm/s, der Hub ist 7 mm, die Anzahl der Zyklen pro Track beträgt 10.

**2.3 Makroskalig: Kugel-Scheibe-Tribometer**

Für die Kugel-Scheibe-Tribometer Experimente wurde das T-10 Tribometer vom SFK Forschungsinstitut in Holland verwendet. Die Testparameter sind in Tabelle 1 aufgeführt.

**3 Ergebnisse**

Alle drei Untersuchungsmethoden zeigen dieselben Ergebnisse: Monoethanolamine sind die besten Schmierstoffe unter den untersuchten Bedingungen, Diethanolamin bewegt sich im Mittelfeld, und Triethanolamin reduziert die Schmierung am wenigsten. Weiters tritt bei Triethanolamin starke Korrosion auf (weniger als bei reinem Wasser, aber mehr als bei den beiden anderen Oligomeren).

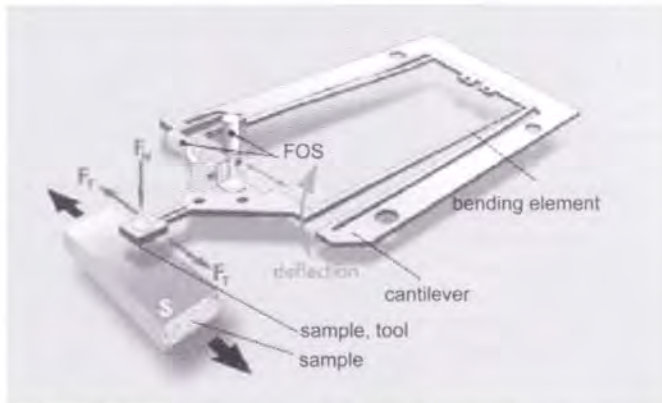


Bild 2: Das FALEX-MUST 2D-FM Mikrotribometer

Bewegung	gleitend
Kontaktgeometrie	Punkt
Konfiguration	vertikale oder horizontale Scheibenrotationsachse
Durchmesser des Balles	6.35 mm
Scheibendurchmesser	50 mm
Gleitgeschwindigkeit	0.05 m/s
Normallast	2 N
Spurradius	10 mm
Öl	PAO
Additivkonzentration	500 ppm

Tabelle 1: Testparameter Kugel-Scheibe-Tribometer Experimente

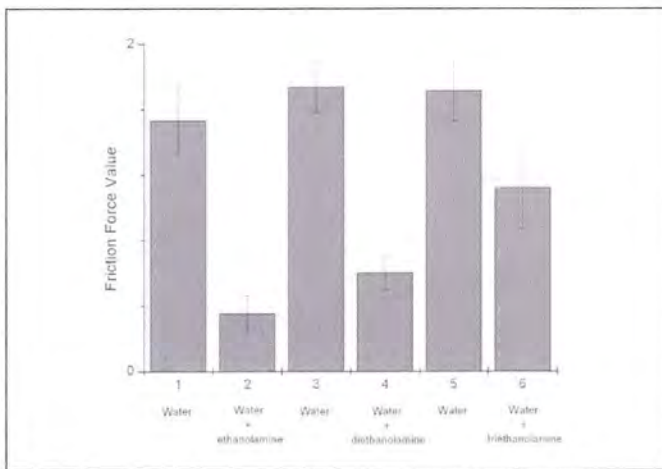


Bild 3: Reibkraftwert (FFV Wert) in reinem doppelt desilliertem Wasser und in doppelt desilliertem Wasser mit verschiedenen Ethanolaminoligomeren

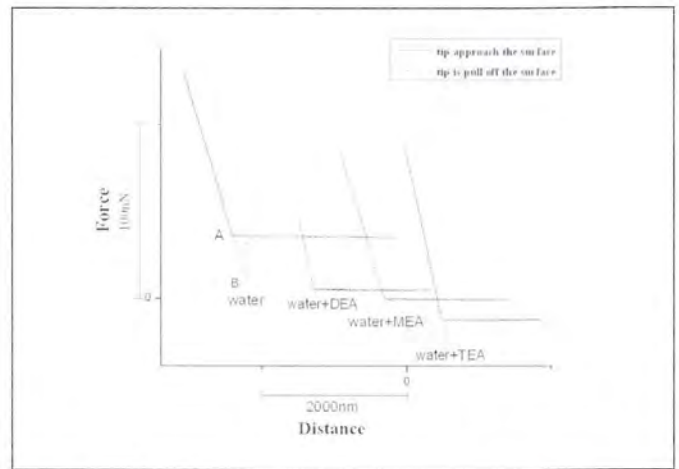


Bild 4: Kraftspektroskopie auf den Ethanolamin-Monolagen

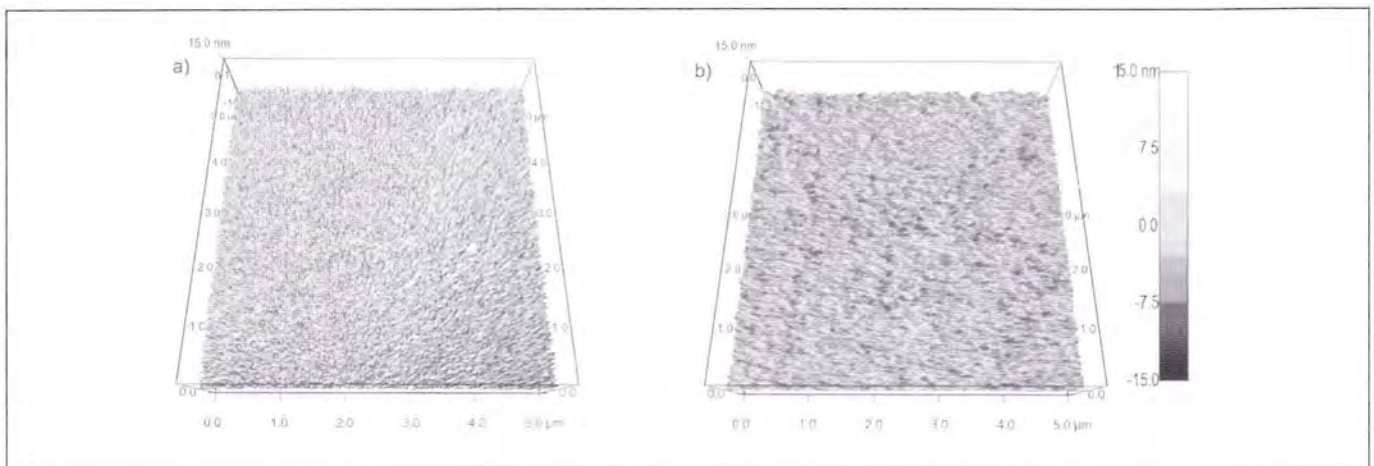
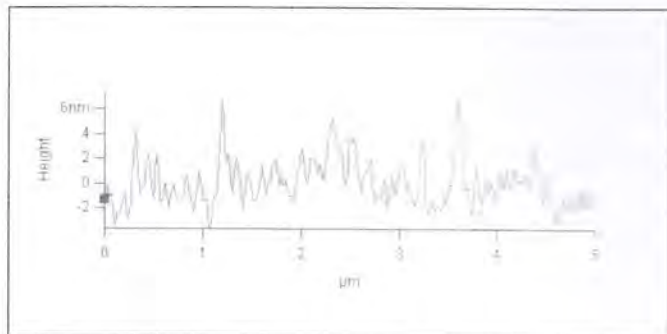
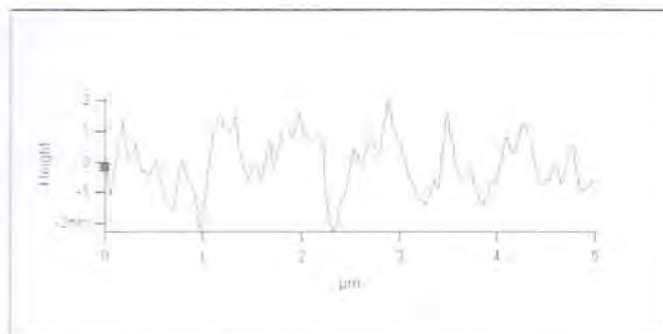


Bild 5: Links: reines Wasser, AFM Topographie Rechts: Wasser mit Monoethanolamin, 20 Minuten nach der Einbringung, AFM Topographie



**Bild 6:** Scanlinie in reinem Wasser; AFM Topographie



**Bild 7:** Scanlinie in Wasser mit Monoethanolamin, 20 Minuten nach der Einbringung, AFM Topographie

### 3.1 Nanoskalig: Rasterkraftmikroskop

Die relative Reduktion der Reibkräfte verglichen zu doppeldestilliertem Wasser ist 76 % bei Monoethanolamin, 65 % bei Diethanolamin und 35 % bei Triethanolamin (**Bild 3**). Auch Kraftkurven (rasterkraftspektroskopische Ergebnisse) zeigen distinktive Unterschiede bei den drei untersuchten Oligomeren. Repräsentative Kraftkurven sind in **Bild 4** zu sehen. **Bild 5** zeigt die Veränderung der Oberfläche durch die Beschichtung mit Monoethanolamin. Die Oberflächenrauigkeit wird reduziert: in reinem destilliertem Wasser ist sie  $3.59 \pm 1.97$  nm r.m.s., in Monoethanolamin ist sie  $0.89 \pm 0.58$  nm r.m.s. Dies zeigen auch die Scanlinien in **Bild 6** und 7.

### 3.2 Mikroskalig: Mikrotribometer

Die Reibzahlreduktion im Vergleich zu reinem doppeldestilliertem Wasser beträgt für Monoethanolamin 63 %, für Diethanolamin 44 % und für Triethanolamin 25 % (**Bild 8**).

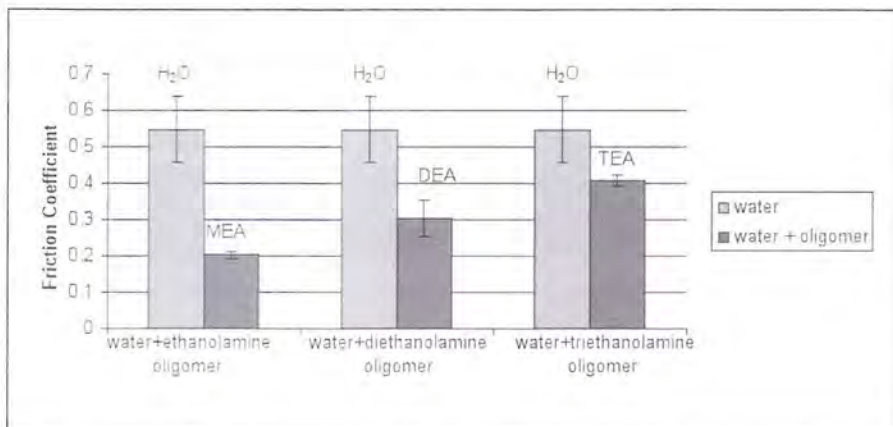
### 3.3 Makroskalig: Kugel-auf-Scheibe Tribometer

Auch bei den Kugel-auf-Scheibe Tribometer Experimenten zeigen sich vergleichbare Ergebnisse: Die Reibzahlreduktion ist am größten für Monoethanolamin (**Bild 9**).

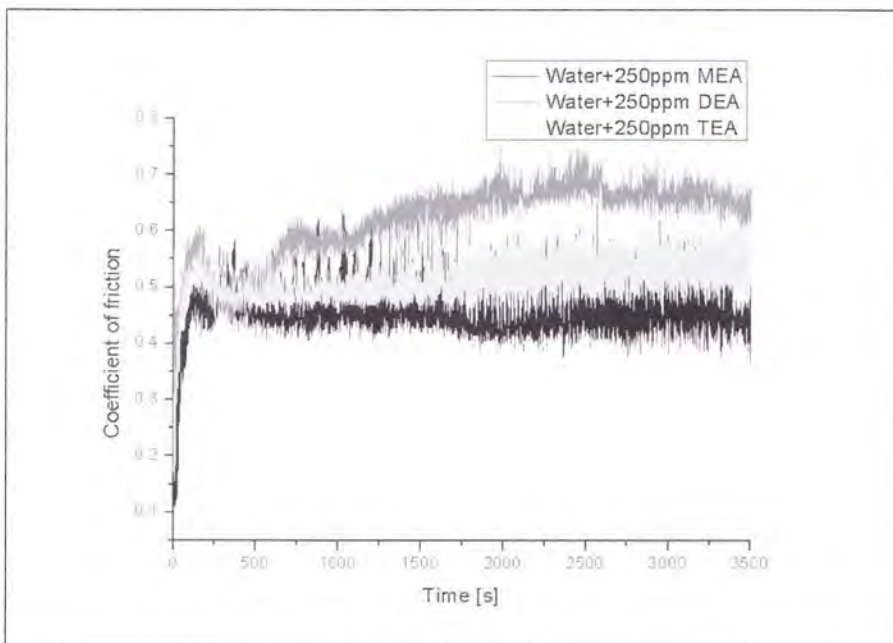
## 4 Diskussion der Ergebnisse

Photoelektronenspektroskopische Untersuchungen [2,3] an Ethanolaminoligomeren auf Kupfer und Stahl unterstützen die oben beschriebenen Ergebnisse: Stickstoff bindet chemisch an die Oberfläche (Chemisorption), und die Hydroxylgruppen sind an der Oberseite der dünnen Schmierstofflagen [4].

Auch die kraftspektroskopischen Untersuchungen zeigen, dass die Abrisskraft für Monoethanolamin am geringsten ist [5]. Die Erklärung dafür ist, dass die Oberflächenenergie durch die Additive erhöht wird und deswegen die drei Oligomere, die ja verschiedene Anzahl an Hydroxylgruppen haben, auch verschieden stark binden.



**Bild 8:** Mikrotribometerresultate für die Reibzahl bei verschiedenen Ethanolaminoligomeren



**Bild 9:** Kugel-auf-Scheibe Tribometer Ergebnisse für 0,025 % (250 ppm) Ethanololigomere in doppelt destilliertem Wasser

## 5 Ausblick

Verschiedene Additive mit ähnlichen funktionalen Gruppen (Amine, Hydroxylgruppen) sollen mit den oben beschriebenen Methoden vermessen und mit den bereits untersuchten Additiven verglichen werden.

Weiters sind Untersuchungen geplant, die den Einfluss der Länge der Kohlenstoffketten auf die Reibeigenschaften der Ethanolamine beleuchten.



## 6 Danksagung

Dank an Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christoph Eisenmenger-Sittner für die Plasmabesputterung der Siliziumwafer.

Aldara Naveira-Suarez für die Durchführung der Experimente im SKF Forschungsinstitut in Holland.

Ein Teil dieser Arbeit wurde durch das EU TMR WEMESURF unter der Kontraktnummer MRTN-CT-2006-035589 finanziert.

## 7 Literatur

- [1] Bhushan B. (Ed.): Nanotribology and Nanomechanics; an Introduction, Springer, Berlin; 2<sup>nd</sup> Rev. Ed. 2008
- [2] Kolm R., Gebeshuber I.C., Kenesey E., Ecker A., Pauschitz A., Werner W.S.M. und Störi H. (2005) „Tribiochemistry of mono molecular additive films on metal surfaces, investigated by XPS and HFRR“, in: Life Cycle Tribology, Eds.: D. Dowson, M. Priest, G. Dalmaz and A.A. Lubrecht, Tribology and Interface Engineering Series, No. 48, Series Editor B.J. Briscoe, Elsevier, 269-282.
- [3] Störi H., Kleiner R., Werner W.S.M., Kolm R., Gebeshuber I.C. und Jogi C. (2004) „Characterisation of monomolecular lubricant films“, Proceedings 14<sup>th</sup> International Colloquium Tribology, Technische Akademie Esslingen, Volume III, 1663-1666, January 13-15, 2004
- [4] Tomala A., Werner W.S.M., Gebeshuber I.C., Dörr N. and Störi H. (2009) „Tribiochemistry of monomolecular lubricant films of ethanolamine oligomers“, Tribology International, doi:10.1016/j.triboint.2009.06.004, in press.
- [5] Bogus A., Pieczetowski C., Vasko C.A., Doerr N., Stoeri H. und I.C. Gebeshuber (2007) „AFM nanotribology study of the frictional properties of ethanolamine oligomers“, Proc. 34<sup>th</sup> Leeds-Lyon Symposium on Tribology, paper XXX/4



Unabhängige und  
lieferantenneutrale tribotechnische Beratung  
und Schmierstoffuntersuchung

E-Mail: [tribotechnik@smgb.de](mailto:tribotechnik@smgb.de)

Weitere Informationen finden Sie unter:  
[www.smgb.de/frames\\_2-3-0\\_tribo.html](http://www.smgb.de/frames_2-3-0_tribo.html)

# Tribologie und Schmierungstechnik

„Richtungsweisende Informationen aus Forschung und Entwicklung“

Getriebebeschmierung – Motorenschmierung – Schmierfette und Schmierstoffe – Kühlschmierstoffe –  
Schmierung in der Umformtechnik – Tribologisches Verhalten von Werkstoffen – Minimalmengenschmierung –  
Gebrauchtolanalyse – Mikro- und Nanotribologie – Ökologische Aspekte der Schmierstoffe – Tribologische Prüfverfahren



## Bestellcoupon

Ich möchte **Tribologie und Schmierungstechnik** näher kennen lernen.

Bitte liefern Sie mir ein **Probeabonnement** (2 Ausgaben), zum **Vorzugspreis** von € 39,- (inkl. Versandkosten).

So kann ich die Zeitschrift in Ruhe prüfen. Wenn Sie dann nichts von mir hören, möchte ich **Tribologie und Schmierungstechnik** weiter beziehen. Zum jährlichen Abo-Preis von € 179,- Inland bzw. € 186,- Ausland (inkl. Versandkosten). Die Rechnungsstellung erfolgt dann jährlich.

Das Jahresabonnement ist für ein Jahr gültig; die Kündigungsfrist beträgt sechs Wochen zum Jahresende.

Firma, Abteilung: \_\_\_\_\_

Straße, Nr.: \_\_\_\_\_

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

PLZ, Ort: \_\_\_\_\_

Ort/Datum, Unterschrift:  
(ggf. Firmenstempel)