

Georg Jacobs, Volker Rombach, Michael Plogmann, Hubertus Murrenhoff und Claus Enekes

# Hydraulikpumpe als umweltverträgliches Tribosystem durch PVD-Beschichtung

Hydraulische Kreisläufe werden in der Agrartechnik vielfach aufgrund ihrer hohen Leistungsdichte, ihrer flexiblen Einsatzmöglichkeiten sowie des geringen Bauraumbedarfs verwendet. Mit der Nutzung von Druckübertragungsmedien ist gleichzeitig auch eine Gefährdung der Umwelt durch Leckage gegeben. Der Sonderforschungsbereich (SFB) 442 der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) hat es sich zur Aufgabe gemacht, umweltverträgliche Tribosysteme zu entwickeln, die mit biologisch schnell abbaubaren Schmierstoffen betrieben werden. Bei den im Folgenden vorgestellten Untersuchungen wurde auf Additive verzichtet und stattdessen eine Hydraulikpumpe verwendet, die durch synthetische Ester und PVD-Beschichtungen (physical vapour deposition) günstige Reib- und Verschleißigenschaften aufwies.

## Schlüsselwörter

Wälzlager, Hydraulikpumpe, Axialkolben, PVD-Beschichtungen, biologische Abbaubarkeit, Esterschmierstoff, Sonderforschungsbereich 442

## Keywords

Rolling bearings, hydraulic displacement pump, axial piston, PVD-coatings, biodegradability, ester lubricants, Collaborative Research Centre 442

## Abstract

Jacobs, Georg; Rombach, Volker; Plogmann, Michael; Murrenhoff, Hubertus and Enekes, Claus

Hydraulic displacement pump as environmentally friendly tribosystem by PVD-coating

Landtechnik 65 (2010), no. 3, pp. 182-184, 2 figures, 11 references

Hydraulic systems are commonly used in agricultural engineering due to their high power density, various fields of application and the small required installation space. The use of hydraulic oil is connected to an ecological danger due to leakage. The Collaborative Research Centre (CRC) 442

of the German Research Foundation (DFG) has developed ecologically acceptable tribosystems which operate with lubricants compatible to the environment. The examinations within this context were conducted without additives. Instead, a hydraulic axial piston pump was examined and has shown good properties concerning friction and wear. This has been realised by using synthetical esters and PVD-coatings (physical vapour deposition).

■ Bei der Mobilhydraulik, die im Bereich der Landwirtschaftstechnik breite Anwendung findet, liegt generell ein gewisses Leckagerisiko vor. Zum Austritt von Schmierstoffen in die Umgebung kann es z.B. beim Trennen von Hydraulik-Kupplungen, durch Undichtigkeiten an Schläuchen und Verschraubungen sowie im Extremfall auch durch ein Abreißen von Leitungen kommen. Gerade im Bereich der Agrartechnik ist mit dem Austritt von Schmierstoffen eine große Umweltgefährdung gegeben. Ein Großteil der eingesetzten Hydraulikschmierstoffe (85–90 %) ist mineralölbasiert, während lediglich 5 % der Hydraulikschmierstoffe synthetischen Ursprungs und biologisch schnell abbaubar sind [1].

Entwicklungen in den vergangenen Jahren betreffen Universal Tractor Transmission Oils (UTTO). Diese eignen sich für den Einsatz in Traktoren mit einem gemeinsamen Ölvolumen für Getriebe und Hydraulik. Sie basieren auf nativem Rapsöl und bieten neben einem sehr guten ökotoxikologischen Verhalten günstige leistungsspezifische, chemische und physikalische Eigenschaften [2]. Die Frage, welche Schmierstoffe zum Einsatz

kommen, hat insbesondere auch darauf Einfluss, wie schnell diese abgebaut werden und wie mit dem kontaminierten Erdreich umgegangen werden muss [3; 4; 5].

### Suche nach Alternativen

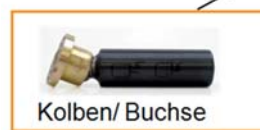
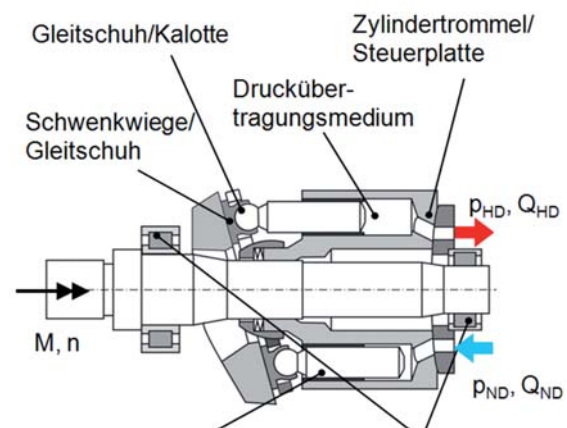
Die Tribologie ist die Wissenschaft von aufeinander einwirkenden Oberflächen in Relativbewegung und beschäftigt sich mit Reibung und Verschleiß. Tribosysteme bestehen im Allgemeinen aus Grundkörper, Gegenkörper, Zwischenstoff und dem Umgebungsmedium. Reibung und Verschleiß werden durch die Beanspruchungen, die Eigenschaften der Stoffe und die Wechselwirkungen bestimmt. Von enormer Bedeutung sind insbesondere die Schmierstoffe und die ihnen zugesetzten Additive [6].

Wie Untersuchungen im SFB 442 gezeigt haben, sind additivierte Mineralölschmierstoffe vielfach ökotoxikologisch bedenklich und schlecht biologisch abbaubar [7]. Der SFB 442 hat es sich zum Ziel gesetzt, umweltverträgliche Tribosysteme zu entwickeln und dabei auf die Nutzung von Additiven zu verzichten. Stattdessen wurden nicht additivierte Esterschmierstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe entwickelt und eingesetzt. Die Schmierstofflösungen wurden in Bezug auf ihre Ökotoxizität und ihre biologische Abbaubarkeit erprobt [8]. Um trotz der fehlenden Additive einen sehr guten Verschleißschutz in den verschiedenen Tribosystemen zu gewährleisten, wurden die Oberflächen der Kontaktpartner mit PVD-Beschichtungen versehen. Hierbei handelt es sich um dünne Schichten im Micrometerbereich, die über eine große Härte und chemische Inertheit verfügen. Eines der im Bereich der Hydraulikkomponenten und Wälzlager eingesetzten Schichtsysteme ist das gradierte Zirkoniumcarbid, welches am Institut für Oberflächentechnik (IOT) der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH) entwickelt worden ist. Durch Verwendung von Beschichtungen wurde ein Verzicht auf Buntmetalle in der Hydraulikpumpe möglich. In Kombination mit einer Optimierung der Bauteilgeometrie der Axialkolbenpumpe wurde eine Reduzierung von Reibung und Verschleiß erreicht [9]. Es konnte gezeigt werden, dass die Schicht auch nach dem Versuch voll funktionsfähig ist. Das Schichtsystem Zirkoniumcarbid wurde darüber hinaus auch im Bereich von Verzahnungen eingesetzt [10].

### Randbedingungen der Untersuchungen

Die entsprechenden Schmierstoffe und Werkstofflösungen wurden an einer Hydraulikpumpe, dem zentralen Element jedes Hydraulikkreislaufes, untersucht. Innerhalb einer Axialkolbenpumpe wurden der Kontakt zwischen Kolben und Buchse sowie die eingesetzten Wälzlager untersucht. Die Leistungsfähigkeit einer Hydraulikpumpe mit PVD-beschichteten Komponenten in Kombination mit nicht additivierten synthetischen Esterschmierstoffen, die im SFB entwickelt worden waren, wurde mit der eines konventionellen Systems verglichen. Die Axialkolbenpumpe wurde innerhalb eines Alterungsprüfstands realitätsnah betrieben, der mit Filtern, Kühlern, Ventilen, hydraulischen Widerständen und Rohrleitungen ausgestattet

Abb. 1



Kolben/ Buchse



Zylinderrollenlager

#### Konventionelles System:

- gehärtete Stahlkolben in Messingbuchsen
- unbeschichtete Wälzlager aus 100Cr6
- konventioneller Ester  $v_{40^{\circ}\text{C}}=32\text{cSt}$

#### SFB-Konzept:

- $\text{ZrC}_x$ -beschichtete Kolben in Zylindertrommel aus Ck45
- $\text{ZrC}_x$ - und WC/C-beschichtete Wälzlager
- SFB-Esterschmierstoff  $v_{40^{\circ}\text{C}}=32\text{cSt}$

Axialkolbenpumpe, Ausführung konventionell und als SFB-Konzept  
Fig. 1: Hydraulic displacement pump; conventional and SFB-concept

war. **Abbildung 1** zeigt einen Querschnitt der für die Untersuchungen genutzten Pumpe sowie die Randbedingungen der Untersuchungen.

Bei der Interpretation der Untersuchungsergebnisse wurden Erkenntnisse aus vorangegangenen Prüfstandsuntersuchungen einbezogen. Hier hatte sich im Bereich Wälzlager gezeigt, dass PVD-Beschichtungen einen sehr guten Verschleißschutz bereitstellen können und in der Lage sind, Verschleißschutzadditive zu ersetzen. Darüber hinausgehend konnte die Ermüdungslebensdauer durch den Einsatz von PVD-Beschichtungen in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen gesteigert werden [11].

### Untersuchungsergebnisse

Ein Vergleich des hydraulisch-mechanischen Pumpenwirkungsgrads zeigte eine leichte Verbesserung bei Verwendung des SFB-Konzeptes gegenüber dem Referenzsystem [7] in Abhängigkeit von den eingestellten Drehzahlen und Drücken. Gleichzeitig war eine Erhöhung der Partikelkonzentration beim Betrieb des SFB-Konzeptes festzustellen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass ein Materialabtrag auftritt, der jedoch nach kurzer Zeit zum Erliegen kommt. Bedeutsam ist aus diesem Grund auch die Untersuchung der im Versuch getesteten Bauteile (**Abbildung 2**). Im Versuch kam es an den PVD-beschichteten Bauteilen zu einem Einlaufen bzw. einer Einglättung der Oberflächen.

Abb. 2



Wälzlager und Kolben aus den Versuchen in einer Axialkolbenpumpe  
 Fig. 2: Rolling bearings after test (top), pistons before and after test  
 (bottom)

Bei den Wälzlagern zeigte sich ein deutlicher Materialabtrag bei einer gleichzeitigen Einebnung der Rauheitsspitzen. Entsprechende Effekte waren bereits in Prüfstandsuntersuchungen zu beobachten gewesen. Diese hatten außerdem gezeigt, dass der Materialabtrag stark von den vorliegenden Presungen sowie der Oberflächentrennung abhängt [7].

Auch an den untersuchten Kolben konnte eine deutliche Einglättung beobachtet werden, bei der lediglich die Rauheitsspitzen abgetragen wurden. Ursache ist, dass das Härteniveau der Reibpartner durch Verwendung von Beschichtungen und Vergütungsstählen angehoben wurde und es dadurch zu einer höheren Partikelgenerierung kam. Dabei konnte gezeigt werden, dass lediglich ein Einlaufen der Oberflächen stattgefunden hatte und nur ein geringer Teil der Schicht abgetragen worden war [9]. Die Untersuchungen zur gebrauchsbedingten Veränderung des Schmierstoffs zeigten, dass sich durch den Gebrauch die Viskosität des SFB-Schmierstoffs weniger stark änderte als die des eingesetzten Referenzschmierstoffes. Bei beiden Schmierstoffen wurde durch den Gebrauch eine Zunahme der ökotoxischen Wirkung festgestellt, jedoch keine Beeinträchtigung der biologischen Abbaubarkeit. Die biologische Abbaubarkeit des SFB-Schmierstoffes ist entsprechend den OECD-Richtlinien als gut zu bezeichnen (60 % Abbau in 28 Tagen).

## Schlussfolgerungen

Umweltverträgliche tribologische Systeme lassen sich mittels nicht additiver synthetischer Ester und PVD-Beschichtungen realisieren. Die Leistungsfähigkeit PVD-beschichteter Wälzlager und Kolben für Hydraulikpumpen konnte in Prüfstandsversuchen und in realitätsnahen Versuchen in einem Alterungsprüfstand gezeigt werden. Es konnten Einglättungseffekte sowohl an den beschichteten Wälzlagern als auch an den beschichteten Kolben nachgewiesen werden. Der im SFB 442 entwickelte Esterschmierstoff wies auch nach seinem Gebrauch eine gute biologische Abbaubarkeit auf.

## Literatur

- [1] Bock, W.: Schmierstoffe und Schmierstoffanwendungen der Zukunft – „Hydraulikflüssigkeiten“. Wissensportal Baumaschine.de, Fuchs Petrolub AG, Mannheim, 2003, [http://www.baumaschine.de/Portal/Aktuell\\_0302/Wissenschaft/schmierstoffe/schmierstoffe.pdf](http://www.baumaschine.de/Portal/Aktuell_0302/Wissenschaft/schmierstoffe/schmierstoffe.pdf), Zugriff am 25.02.2010
- [2] Kunz, A.: „Entwicklung eines Universal Tractor Oil (UTTO) auf Basis nachwachsender Rohstoffe“. Materialwissenschaften und Werkstofftechnik 37 (2006), H. 2, S. 191-201
- [3] Bantleon, Hermann GmbH (Hrsg.): Merkblatt zum Einsatz von Bioölen. [http://www.bantleon.de/bantleon/\\_download/Merkblatt\\_zum\\_Einsatz\\_von\\_Biooelen.pdf](http://www.bantleon.de/bantleon/_download/Merkblatt_zum_Einsatz_von_Biooelen.pdf), Zugriff am 03.02.2010
- [4] Kleenoiil Panolin AG (Hrsg.): Ölunfall mit Bioölen: Was ist zu tun? Deutsches Baublatt Nr. 300, 2003, [http://www.baublatt.de/archiv/2003\\_3/15.pdf](http://www.baublatt.de/archiv/2003_3/15.pdf), Zugriff am 25.02.2010
- [5] Theissen, H.: Merkblatt „Unfälle mit Bioöl“, Vorgehensweise bei unbeabsichtigter Freisetzung von Bioöl. Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen der RWTH Aachen, 2005, [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_212th\\_merkblattoelunfall\\_ifas\\_051111.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_212th_merkblattoelunfall_ifas_051111.pdf), Zugriff am 25.02.2010
- [6] Bartz, W. und J. Möller: Expert Praxislexikon Tribologie Plus – 2010 Begriffe für Studium und Beruf. Expert Verlag, Renningen, 2000
- [7] Jacobs, G.; Gold, P.W.; Rombach, V.; Plogmann, M.; Dott, W. and Michael, S.: Tribological Aspects of PVD-coated and Ecologically Lubricated Roller Bearings. 17<sup>th</sup> International Colloquium Tribologie, Ostfildern, 2010
- [8] Bressling, J.; W. Dott, H. Murrenhoff und J. Schumacher: Toxikologische Bewertung der alterungsbedingten Veränderung biogener Schmieröle. Tribologie und Schmierungstechnik, 56 (2009), H. 4, S. 5–9
- [9] Enekes, C. and Murrenhoff, H.: „Efficiency of axial piston pumps utilizing coated tribological systems and environmentally friendly fluids“. World Tribology Conference, Kyoto, Japan, 2009
- [10] Brecher, C.; C. Gorgels und A. Bagh: Sauber und effizient – Potenzial umweltfreundlicher Tribosysteme in Leistungsgetrieben. In: Tagungsband zum Antriebstechnischen Kolloquium, Aachen, Mai 2009. Verlagsgruppe Mainz GmbH, Aachen, 2009, S. 267–297
- [11] Jacobs, G.; P.W. Gold, V. Rombach und M. Plogmann: Einsatz von PVD-Beschichtungen im Tribosystem Wälzlager. Tagungsband zur 50. Tribologie-Fachtagung; Gesellschaft für Tribologie e.V. (Hrsg.), Aachen, Bd. 2, 2009

## Autoren

**Dipl.-Ing. Michael Plogmann** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Maschinenelemente und Maschinengestaltung der Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH).

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs** ist Leiter dieses Instituts.

**Dr.-Ing. Volker Rombach** ist Oberingenieur dieses Instituts und zuständig für den Bereich Tribologie.

**Dipl.-Ing. Claus Enekes** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen der RWTH Aachen.

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff** ist Leiter dieses Instituts.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung des Sonderforschungsbereichs 442 „Umweltverträgliche Tribosysteme durch geeignete Werkstoffverbunde und Zwischenstoffe am Beispiel der Werkzeugmaschine“.