

Einfluss von Schmierstoffadditiven auf Verschleiß von Wälzlagern lässt sich am Prüfstand ermitteln

Dr. Norbert Geheb und Dipl.-Ing. (TU) Jörg Franke

INA-Sonderdruck aus „Maschinenmarkt“
Heft Nr. 6 vom 7. Februar 2000
Vogel-Verlag, Würzburg



Einfluss von Schmierstoffadditiven auf Verschleiß von Wälzlagern lässt sich am Prüfstand ermitteln

Dr. Norbert Geheeb und Dipl.-Ing. (TU) Jörg Franke

Ausschlaggebend für den Verschleiß von Wälzlagern sind sowohl Schmierfilmdicke als auch Schmierstoffadditive. Das verdeutlichen Tests auf einem Axiallager-Prüfstand. Messgrößen sind der elektrische Kontakt, die Temperatur, der Schlupf, die Drehzahl und das Reibmoment.

Der Verschleiß wird gravimetrisch bestimmt. Grund für den Additiv-Einfluss ist die Wirkung von Sauerstoff, Schwefel und Phosphor auf die Stahloberfläche.

1. Einleitung

Untersuchungen im Auftrag der Forschungsvereinigung Antriebstechnik (FVA) am FZG-Prüfstand sowie am FE-8-Prüfstand mit Axiallagern der Reihen 811 und 812 haben gezeigt, dass Additive im Misch- und Grenzreibungsgebiet einen entscheidenden Einfluss auf die Lager-Lebensdauer haben.

In der klassischen Wälzlager-Lebensdauertheorie, z.B. nach Dowson-Higginson, wird jedoch nur die Dicke des Schmierfilms und nicht die Additivierung des Öls berücksichtigt. Dadurch wird gerade im Mischreibungsgebiet bei der Unterschreitung der für eine vollständige

Trennung der Kontaktpartner nötigen Schmierfilmdicke von reinem Schmieröl ausgegangen und somit eine Vereinfachung getroffen. So zeigt Bild 1 die Wechselwirkungen von Sauerstoff, Schwefel und Phosphor mit der Stahloberfläche. Diese im Rahmen des FVA-Vorhabens Nr. 126 durchgeführte Analyse verdeutlicht eine Anreicherung dieser Elemente in einer etwa 20 nm starken „Reaktionsschicht“, die im Allgemeinen als Triboschicht bezeichnet wird.

Bei Untersuchungen des Wälzlagerherstellers INA, Herzogenaurach, wurde festgestellt, dass Wälzlager eine hohe Lebensdauer erreichen können, wenn sich eine derartige Triboschicht bildet, die auch im Misch- oder Grenzreibungsgebiet quasi elasto-hydrodynamische Reibungszustände (EHD) bewirkt.

Aus diesen Grundlagen-Erkenntnissen heraus hat INA den LFT-Prüfstand (Bilder 2 und 3) entwickelt.

Die Prüfstandsparameter sind: Motordrehzahl 11 bis 4000 min^{-1} , maximale Belastung 100 kN, maximale Öltemperatur 120 °C. Je nach Prüfbedingung ist eine Ölbad- oder Ölumlaufschmierung möglich. Die messbaren Größen sind Reibmoment, Kontaktspannung, Käfiggeschwindigkeit, Schmierfilmdicke, Öl- und Lagertemperatur.

2. Einzelne Komponenten an Vier-Säulen-Gestell

Dieser Prüfstand für Axiallager besteht aus einem Vier-Säulen-Gestell, an dem die einzelnen Komponenten des Prüfstandes angebracht sind. Die Antriebseinheit mit der Prüfwelle und der oberen Prüflager-Aufnahme sowie die zugehörige Lagerung befinden sich an der Motorplatte des Prüfstandes. Dagegen ist die untere Prüflager-Aufnahme mit der hydrostatischen Reibungswaage auf einer höhenverstellbaren Zwischenplatte montiert, die in Linearlagern auf den Säulen des Prüfstandgestells geführt wird. Die Einleitung der Belastung erfolgt über einen Hydraulikzylinder.

Die obere Prüflager-Aufnahme ist zur Aufnahme der Wellenscheibe des Prüflagers mit einem Wellenzapfen versehen, der bei Axial-Zylinderrollenlagern gleichzeitig die Führung des Käfigs übernimmt. Die Wellenscheibe ist dabei auf den Wellenzapfen mit einem Press-Sitz gegen Verdrehen gesichert.

Um eine Kontaktspannungsmessung zu ermöglichen, ist die obere Prüflager-Aufnahme mit der Prüfwelle über eine elektrisch isolierende Keramikscheibe verbunden.

Die untere Prüflager-Aufnahme enthält außer der Gehäusescheibe des Prüflagers auch die Sensorik zum Messen der Schmierfilmdicken, der Käfigdrehzahl und der Prüflager-Temperatur sowie Heizelemente zum Beheizen des Prüflagers. Die Gehäusescheibe des Prüflagers liegt in einer Spielpassung in der hierfür vorgesehenen Aussparung



Bild 2 Mit diesem Prüfstand lassen sich Wälzlager bei einer Motordrehzahl von 11 bis 4000 min⁻¹ und einer Belastung bis 100 kN untersuchen

des Prüfkopfs. Als Verdrehungssicherung dient ein Stift, der in eine vorbereitete Nut am Außendurchmesser der Gehäuse-scheibe eingreift.

In Bild 4 ist der Wälzkörperverschleiß bei Verwendung verschiedener Öle dargestellt.

Diese Versuchsreihe wurde mit Axiallagern des Typs 81112 TN bei einer Drehzahl n von 11 min⁻¹, einem Belastungsverhältnis C/P von 2 und einer Temperatur von 80 °C „gefahren“. Aufgrund der geringen Drehzahl ist laut EHD-Theorie mit starker

Mischreibung während des Versuchslaufs zu rechnen. Wie aus den Ergebnissen erkennbar ist, erzeugen die Öle nach 80 h trotz teilweise gleicher Spezifikationen und ähnlicher Viskositäten sehr unterschiedliche Verschleißmengen.

Weitere INA-Untersuchungen mit den Axiallagern bei einer Drehzahl von 800 min⁻¹ zeigten einen weniger stark ausgeprägten Einfluss der Additivierung der Öle auf deren Verschleißverhalten. Es lässt sich daher schlussfolgern,

dass die zunehmende Schmierfilmhöhe die Additiveinflüsse überdeckt.

Es ist jedoch ratsam, das Verhalten des Schmierstoffs unter Trennung der Kontaktpartner durch EHD-Bedingungen gegenzuprüfen, weil extrem oberflächenaktive Additive auch unter diesen Bedingungen die Oberfläche belegen. Dies kann im Extremfall zu Abweichungen in der tatsächlichen Ermüdungslbensdauer des Lagers gegenüber den gängigen Berechnungsmethoden führen.

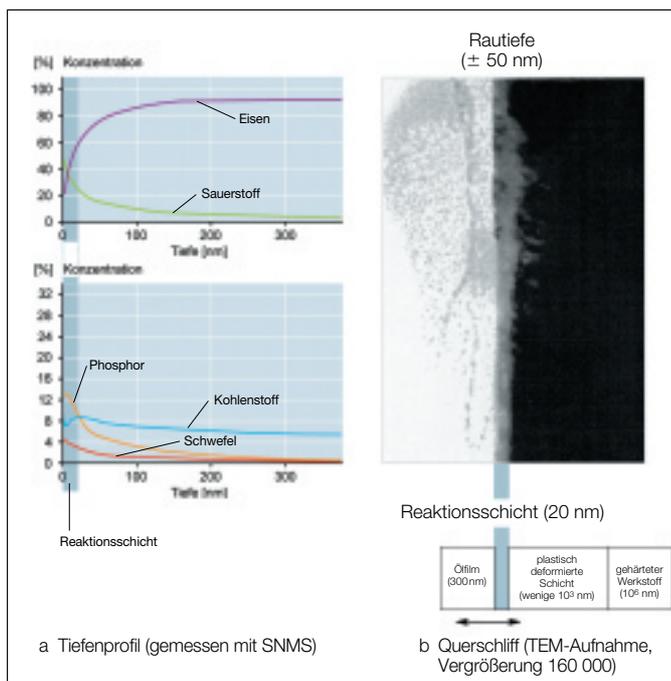


Bild 1 Die Additivbestandteile Sauerstoff, Schwefel und Phosphor dringen in die Stahloberfläche ein. Es bildet sich eine Reaktionsschicht (FVA-Öl Nr. 3 mit 4% Additiv A99, Prüfdauer 42 h, Lagertemperatur 120 °C).

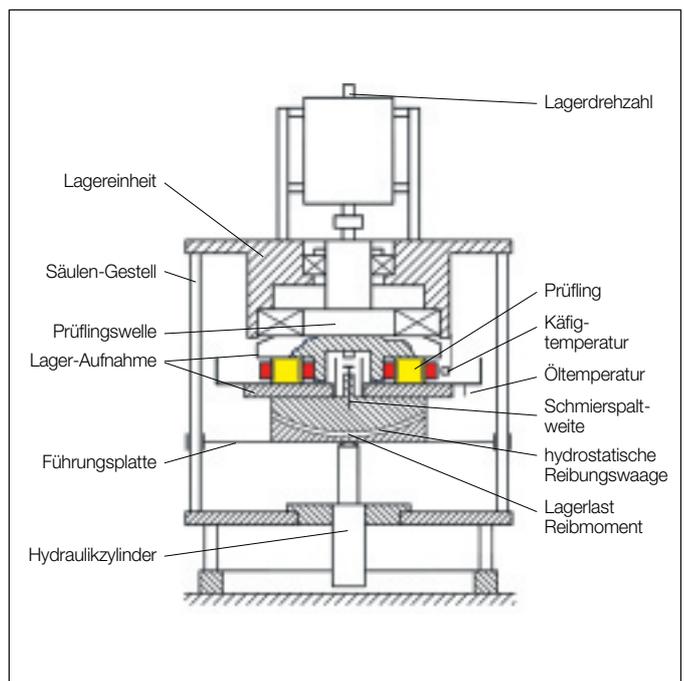


Bild 3 Mit diesem Prüfstand können Reibmoment, Kontaktspannung, Käfiggeschwindigkeit, Schmierfilmdicke sowie Öl- und Lagertemperatur ermittelt werden.



Bild 4 Der Wälzkörperverschleiß ist abhängig vom Schmierstoff, wie Versuche mit Axiallagern auf einem Prüfstand (Motorendrehzahl 11 min^{-1} , Dauer 80 h, Lagertemperatur $80 \text{ }^\circ\text{C}$) zeigten.

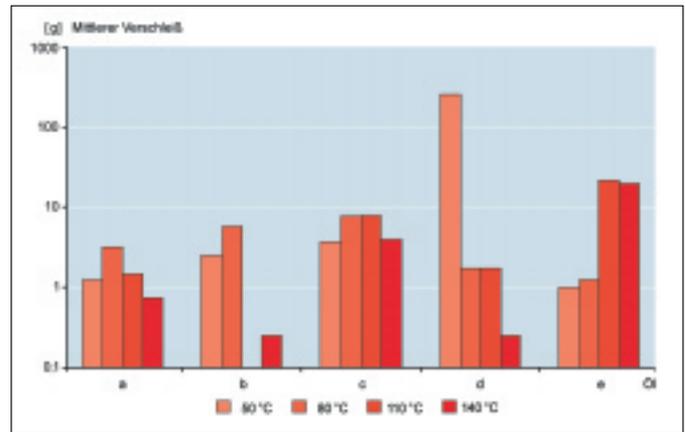


Bild 5 Außer den Schmierstoffen (a bis e) beeinträchtigt auch die Lagertemperatur das Verschleißverhalten.

3. Wirkung von Additiven unterliegt Temperatureinfluss

Weiterhin hat sich gezeigt, dass die Wirkung von Additiven bzw. Additive-Packages einem Temperatureinfluss unterliegt. So zeigen die Prüfstandsergebnisse z.B. bei $50 \text{ }^\circ\text{C}$ eine bedingte, bei $80 \text{ }^\circ\text{C}$ eine schlechte und bei $120 \text{ }^\circ\text{C}$ eine gute Wirkung der Additivierung. Daraus ergibt sich die Konsequenz, dass bei den Untersuchungen von Getriebeölen stets im praxisnahen Temperaturbereich getestet werden muss (Bild 5).

Die bereits beschriebene Untersuchungsmethodik kann auf Industriegetriebeöle, Schaltgetriebeöle, Automatikktriebeöle (ATF) und Öle für stufenlose Automatikgetriebe (CVT-Öle) angewendet werden. Wichtig ist hierbei, dass der LFT-Prüfstand im Gegensatz zum klassischen FE-8-Prüfstand zusätzlich die Möglichkeit bietet, mit Hilfe einer kapazitiven Messung den Kontakt zwischen Wälzkörpern und Scheiben festzustellen. Weiterhin kann mit Hilfe der integrierten hydrostatischen Reibungswaage der Reibkoeffizient des entsprechenden Fluids direkt bestimmt werden. So zeigt Bild 6 ein nach unserer Ansicht akzeptables und Bild 7 ein nicht akzeptables Öl.

In Bild 6 ist auf den Laufscheiben nach 80 h Prüflauf die Schleifstruktur noch voll erkennbar. Dagegen sind in Bild 7 auf

Wälzkörpern und Wellenscheibe starke Laufspuren vorhanden.

Aus dem Mess-Schrieb in Bild 6 ist zu entnehmen, dass sich nach einer kurzen Einlaufphase kein metallischer Kontakt zwischen den Wälzkörpern und den Scheiben mehr feststellen lässt. Es hat sich eine trennende Schicht – eine Triboschicht – gebildet. Im Gegensatz dazu besteht in Bild 7 über die gesamte Laufzeit metallischer Kontakt.

Als weitere Besonderheit bietet der Prüfstand die Möglichkeit einer diskontinuierlichen Messung der Schmierpalthe.

4. Schmierverhalten kann abgeschätzt werden

Die bisherigen Ausführungen zeigen, dass mit Hilfe von Verschleißmessungen an Wellenscheiben und Wälzkörpern, kapazitiver Messung und Reibmomentmessung eine Fluidifferenzierung möglich ist. Damit kann in Schwarzweißmanier das Schmierverhalten eines Öles in Bezug auf Verschleißschutz im Wälzlager abgeschätzt werden.

Im Sinne einer gesamtheitlichen Betrachtung ist es jedoch unbedingt erforderlich, auch die anderen Maschinenelemente einzubeziehen. So können für die Zahnräder die Graufleckentragfähigkeit und der Pittingtest als K.O.-Kriterien dienen. Oft ist hierbei festzustellen, dass die

einzelnen Schmieröle unterschiedliche Tendenzen bezüglich der einzelnen Maschinenelemente haben.

Deshalb ist es erforderlich, zum Beispiel in einem Automatgetriebe die Kupplungen und Freiläufe, aber auch die Synchronringe in einem Schaltgetriebe in Hinblick auf ihr Reibverhalten mit den entsprechend ausgewählten Schmierstoffen zu testen.

Als Ergebnis der bauteilspezifischen Schmierprüfungen zeigt sich meist ein Kompromisskandidat als beste Lösung.

Literaturverzeichnis

NN: Forschungsvereinigung Arbeitstechnik (FVA) Nr. 126 I + II, RWTH Aachen

Autorenhinweis:

Dr. Norbert Geheeb ist Zentralabteilungsleiter des Bereiches Tribologie/Chemie bei der INA Wälzlager Schaeffler oHG in Herzogenaurach.
Dipl.-Ing. (TU) Jörg Franke ist Fachreferent im gleichen Bereich

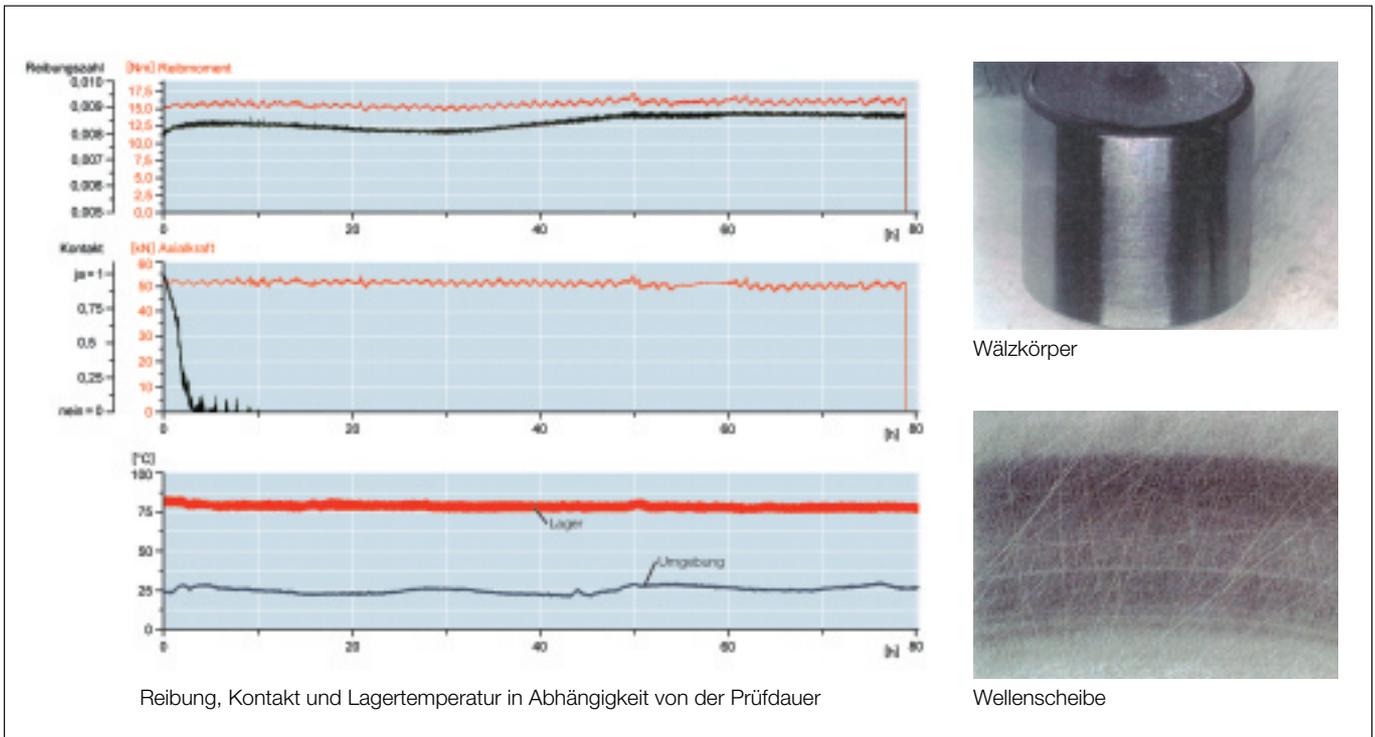


Bild 6 Bei richtiger Auswahl des Schmierstoffs ist nach einer gewissen Einlaufzeit kein Kontakt mehr zwischen Wälzkörpern und Wellenscheiben vorhanden. Daher werden auf den Teilen kaum Laufspuren erzeugt.

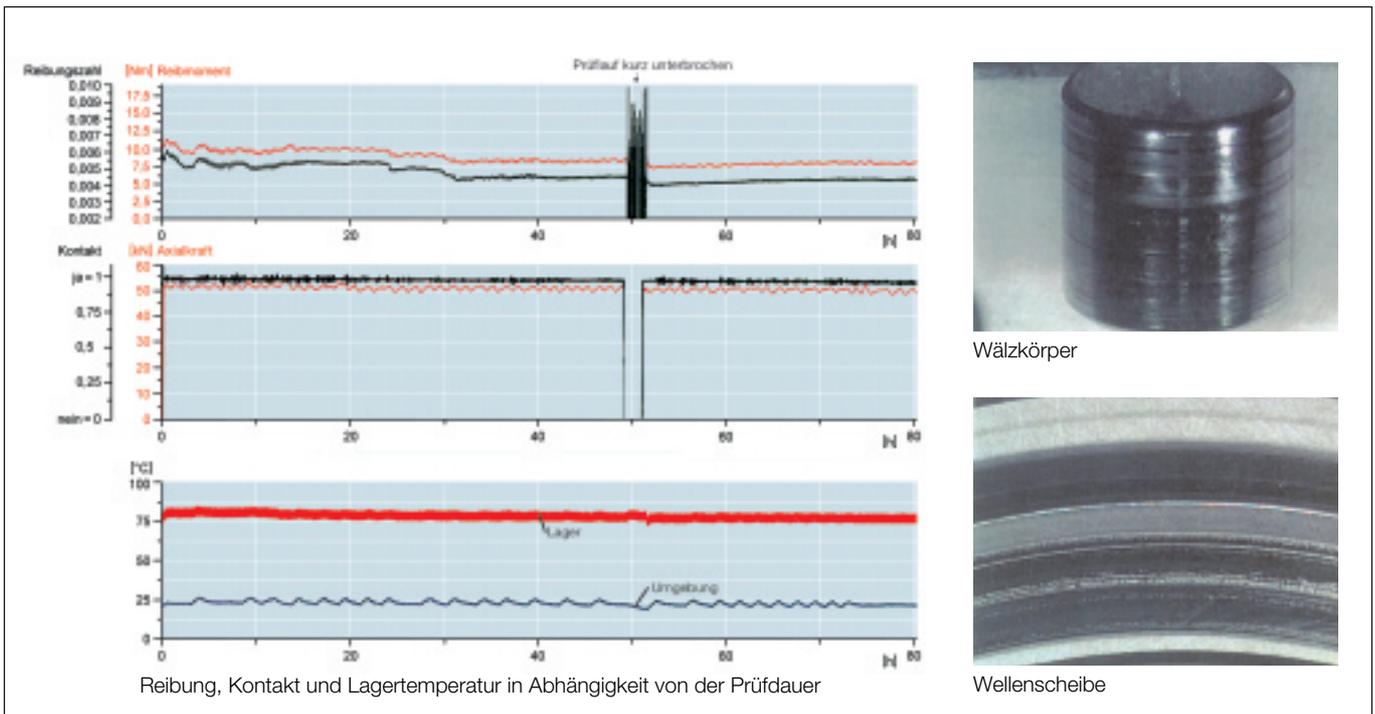


Bild 7 Wird ein falscher Schmierstoff verwendet, kommt es zu keiner Trennung von Wälzkörpern und Wellenscheiben. Daher werden auf den Teilen starke Laufspuren erzeugt.



INA Wälzlager Schaeffler oHG

91072 Herzogenaurach
Telefon (0 91 32) 82-0
Telefax (0 91 32) 82-49 50
www.ina.com