



Bild: Riess

Bild 1: Warum altern Schmierstoffe? Dieser Frage ging eine Grundlagenuntersuchung nach.

Wissen, wann der Schmierstoff ausgetauscht werden muss

Wann und wie altert ein Schmierstoff? Um verlässliche Prognosen über deren Gebrauchsdauer zu treffen, müssen Informationen zum Alterungsmechanismus vorliegen. Eine Grundlagenuntersuchung im FE9-Prüfgerät, bei der ein Schmierstoff beansprucht und gealtert wurde, zeigte: die Antioxidanten sind der Schlüssel.

MARIUS KUHN

Die Ergebnisse mechanisch-dynamischer Prüfungen von verschiedenen Schmierstoffen setzen sich aus Werten zu Verschleiß, Reibmoment, Laufzeit oder maximaler Last zusammen. Um die Prüfzeiten kurz zu halten und möglichst schnell die Schmierstoffgebrauchsgrenze zu erreichen, werden Prüfbedingungen oftmals härter gewählt als es die tatsächlichen Praxisbedin-

Dr. Marius Kuhn ist tätig in der Abteilung Tribologie & Chemie/Tribologie Grundlagen und Beratung bei der Klüber Lubrication München SE & Co. KG in 81379 München, Tel. (0 89) 78 76-0, info@klueber.com

gungen eigentlich sind.

Bei Maschinenelementprüfungen werden die Ursachen der Schmierstoffalterung üblicherweise außer Acht gelassen. So sind Schmierstoffzustände nach Lagerermüdungstests nicht mehr ausreichend analysierbar, da der Schmierstoff zur Verkürzung der Laufzeit beispielsweise bei sehr hohen Temperaturen betrieben wurde. Dadurch altert der Schmierstoff thermisch sehr stark und unterliegt deutlichen chemischen Veränderungen auf molekularer Ebene. Nachträglich ist analytisch nicht mehr feststellbar, welche Schmierstoffkomponente den Ausfall verur-

sacht hat. Für die Schmierstoffentwicklung sind jedoch Informationen über den Schmierstoff während des praxisnahen Betriebs von großer Bedeutung.

Ziel der bei Klüber durchgeführten Grundlagenuntersuchung ist die Prognose der Schmierstoffgebrauchsdauer. Dabei wird ein Schmierstoff entsprechend seiner Anwendung beansprucht und gealtert.

Schmierfette bestehen grundsätzlich aus Grundöl, Verdicker und Additiven

Die Komponenten eines Schmierfettes sind Grundöl, Verdicker und Additive, wobei der

Anteil an Grundöl im Regelfall zwischen 60 bis 90 % beträgt (Bild 2). Die Grundöle bestimmen maßgeblich die Fettgebrauchseigenschaften und müssen gute Schmierungseigenschaften, gute Oxidationsstabilität, gute thermische Stabilität, tiefe untere Gebrauchstemperatur (Pour-Point-Verhalten) und geringe chemische Aktivität aufweisen. In Abhängigkeit zu den Anforderungen kommen mineralölbasische, synthetische wie PAO, Ester, Polyglykole oder native Öle wie Fettsäureester oder Rapsöl zum Einsatz.

Je nach geforderter Konsistenz wird bis zu 30 % Verdickerkomponente verwendet. Über die Art der Schmierstoffverdicker werden Textur, Tropfpunkt, Temperatureinsatzbereich, Stabilität, Lastragevermögen, Drehzahlverhalten, Ölabgabecharakteristik, rheologisches Verhalten und Beständigkeit gegenüber Medien eingestellt. Klassische Verdickersysteme bestehen aus Metallseifen wie Aluminium, Barium, Calcium, Natrium und Lithium oder Polyharnstoffen. Der Additivgehalt schließlich kann bei klassischen Schmierfetten bis zu 10 % betragen.

Additive verhelfen zu den erwünschten Eigenschaften

Additive verleihen Schmierstoffen besondere Eigenschaften, die sie zur Erfüllung der Schmierungsaufgabe benötigen. Sie müssen einerseits eine gute Verträglichkeit mit dem Verdickersystem besitzen, andererseits muss ihre Wirksamkeit sehr hoch sein, da sie an der Schmierstelle relativ lange verharren. Die unterschiedlichen Additivklassen lassen sich anhand ihrer Wirksamkeit unterteilen in Antioxidanten, Metalldeaktivatoren sowie Zusätze für Korrosionsschutz oder Verschleißschutz.

Eine besondere Gruppe der Schmierstoffzusätze sind Festschmierstoffe. Sie werden bei extremen Betriebsbedingungen wie zum Beispiel bei hohen Temperaturen, sehr langsamen Bewegungen, extremen Belastungen und Vakuum eingesetzt. Graphit und Molybdändisulfid sind klassische Vertreter dieser Art.

Die Komponenten von Schmierstoffen unterliegen Alterungsmechanismen, die von Temperatur, Einsatzdauer und mechanischer Belastung abhängen. Grundöle oxidieren durch den Einfluss von Sauerstoff und Temperatur. Davor schützen Antioxidanten, indem sie Radikale, welche die Oxidation auslösen, abfangen. Diese Reaktion führt zu einer kontinuierlichen Verminderung der Additive. Additive verändern sich, je nach ihrem Einsatzspektrum, unterschiedlich.

Verschleißschutz- und Hochdruckadditive (EP/AW) bilden Reaktionsschichten auf

metallischen Oberflächen. Die Reaktionsgeschwindigkeit hängt von Temperatur und mechanischer Belastung, aber auch vom Einfluss von Feuchtigkeit und Sauerstoff sowie dem katalytischen Einfluss von Metallen ab. Zur Beurteilung von EP/AW-Additiven können die sich ändernden Gehalte von Schwefel und Phosphor herangezogen werden.

Die Verwendbarkeit eines Schmierstoffs wird stark durch Kontaminationen beeinflusst. Die wichtigsten Faktoren sind Abriebpartikel aus den Reibstellen und von außen eingetragene Fremdstoffe. Ihre Auswirkung hängt von Menge und Größe der Partikel ab. Zur Beurteilung der Alterung eines Schmierstoffes müssen alle vorhandenen Komponenten und deren spezifische Veränderungen berücksichtigt werden.

Nach Überbeanspruchung ist Ausfallursache nicht mehr erfassbar

Für das von Klüber Lubrication entwickelte Verfahren zur Prognose der Schmierstoffgebrauchsdauer wurden die Ergebnisse aus den üblichen Tests im Wälzlagerprüfgerät FE9 relativiert, die den Schmierstoff gezielt im Grenzbereich belasten. Fällt ein Fett im FE9-Prüfgerät aus, ist der Schmierstoffzustand aufgrund der starken, bewusst in Kauf genommenen Überbeanspruchung analytisch nicht mehr erfassbar. Dann kann nicht mehr festgestellt werden, welche Komponente des Schmierstoffes die Ursache für das Ende der Schmierstoffgebrauchsdauer war. Um diese Frage zu klären, wurden FE9-Prüfungen bei einer praxisrelevanten Temperatur von 120 °C durchgeführt, nach festgelegten Zeitspannen beendet (25 bis 300 Stunden) und die

Schmierstoffe anschließend analysiert.

Klüber setzte den Resultaten aus der FE9 eigene Analyseergebnisse gegenüber, die mithilfe von Infrarotspektroskopie und Plasmaspektroskopie ermittelten worden waren. Als weiterer Bezugspunkt für die ermittelten Werte dienten zwei aus der Praxis stammende Lager ohne Auffälligkeiten mit 70.000 km und mit 363.000 km Laufleistung. Ziel war es, eine Korrelation zwischen Prüfung und Anwendung zu finden, um direkt Prüfung mit Praxis vergleichen zu können (Bild 3).

Die Analyse der gebrauchten Fette zeigte, dass im betrachteten Zeitraum von 300 Stunden FE9-Laufzeit bei 120 °C, oder nach 363.000 km Laufleistung, keine signifikante Alterung von Grundöl und Verdicker des Fettes aufgetreten war. Die Veränderungen beschränkten sich auf die Additive.

Der Ausfall der Antioxidanten ist entscheidend

Der Versagensprozess eines Schmierfettes ist ein sehr komplexer Vorgang aus physikalischen und chemischen Prozessen, die nur schwer separat zu betrachten sind. Eine wichtige Rolle spielt zweifellos der Gehalt an Antioxidanten. Bei erhöhten Temperaturen und in Gegenwart von Sauerstoff kommt es zu einer radikalinduzierten Oxidation des Schmiermittels, bei der sich Säuren und schließlich ö unlösliche Polymerisate bilden, die zum Versagen des Schmierstoffes beitragen. Der Antioxidant kann diese Reaktion unterbrechen, geht dabei jedoch eine chemische Verbindung ein, die keine antioxidativen Eigenschaften mehr besitzt. Mit laufender Betriebszeit nimmt also der Gehalt an Antioxidant ab und die Oxidation des

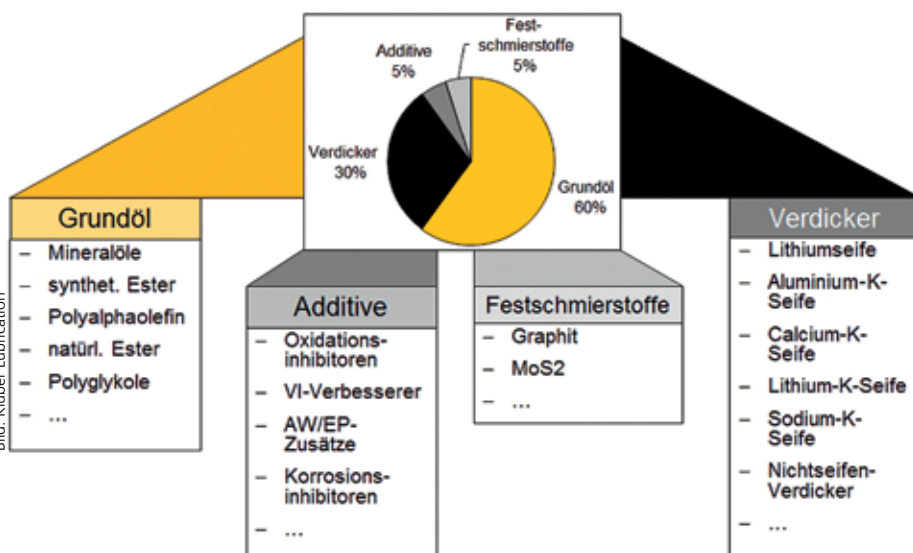


Bild 2: Schmierfette bestehen Grundöl, Verdicker und Additive. Für Anwendungen mit extremen Betriebsbedingungen können zusätzlich Festschmierstoffe eingesetzt werden.

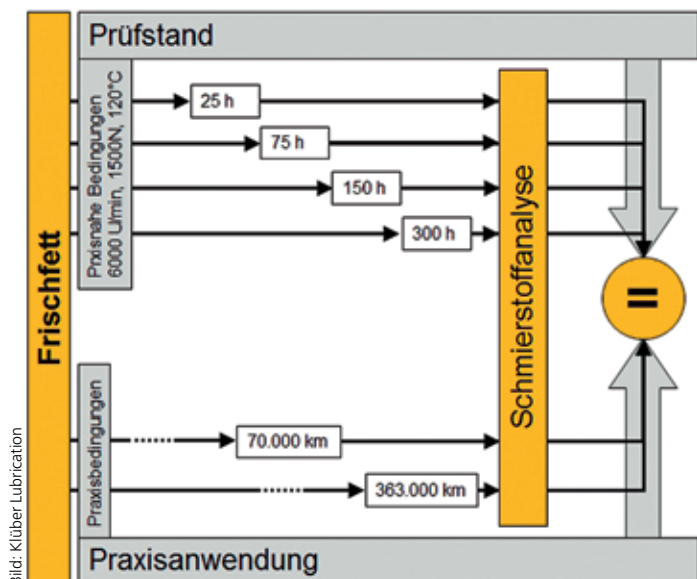


Bild 3: Die FE9-Prüfungen wurden bei einer Temperatur von 120 °C durchgeführt, nach Zeitspannen von 25 bis 300 Stunden beendet und die Schmierstoffe anschließend analysiert. Diese Ergebnisse wurden mit aus der Praxis stammenden Lagern mit 70.000 und 363.000 km Laufleistung verglichen.

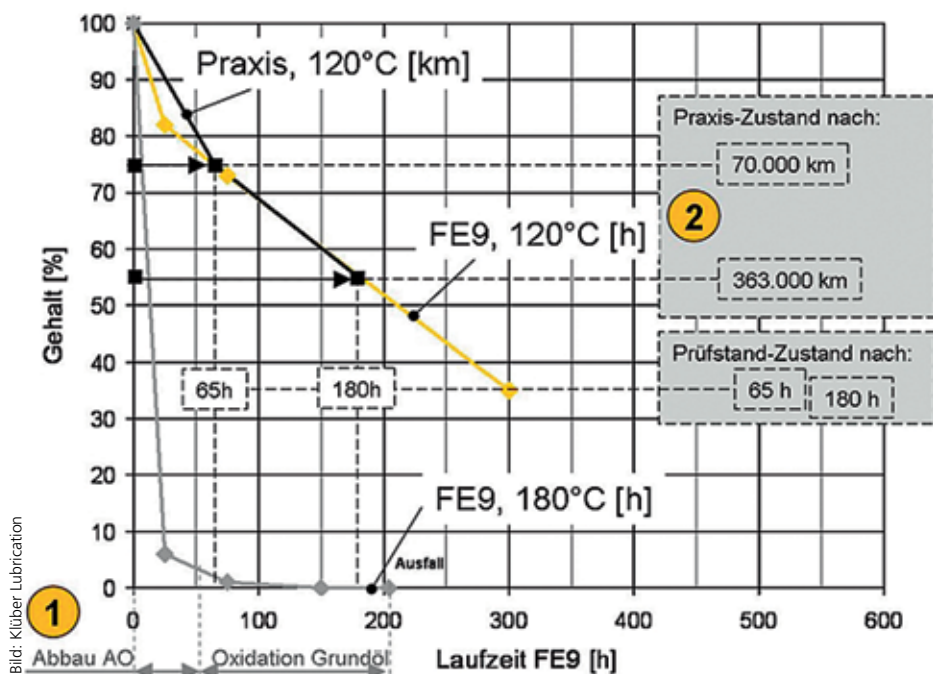


Bild 4: Der Abbau des Antioxidanten ist abhängig von der Prüftemperatur: Während er bei 120 °C verzögert ist, wurde der Anteil der Antioxidanten bei 180 °C nach etwa 80 Stunden fast auf Null reduziert.

Schmierstoffes zu.

Bei der Entwicklung des erwähnten Verfahrens wurde der Gehalt an Antioxidant der FE9-Schmierstoffproben und der Praxisproben mittels Massenspektroskopie bestimmt. Die Analysewerte der unterschiedlichen Schmierstoffproben (aus der Praxis, aus dem FE9-Prüfgerät bei 120 °C und 180 °C) wurden verglichen. Daraus wird klar, dass der Abbau des Antioxidanten deutlich von der Prüftemperatur abhängt (Bild 4). Bei 180 °C war er bereits nach etwa 80 Stunden abregiert und nahe Null. Anschließend ist das Grundöl dem Oxidationsprozess schutzlos ausgeliefert. Der Versuch erstreckte sich noch über weitere 100 Stunden, bis das Lager

ausfiel.

Im Gegensatz dazu war der Abbau bei anwendungsnahen 120 °C stark verzögert. Hier zeigte sich deutlich das höhere Laufzeitpotential bei geringerer Temperatur. Allerdings ist zu beachten, dass bei 180 °C nicht nur Oxidationsprozesse zum Versagen des Schmierstoffes beitragen, sondern auch bereits eine thermische Zerstörung des Grundöls, des Verdickers und der Additive stattfindet. Dadurch können sich die Ausfallmechanismen im Vergleich zur Praxisanwendung bei deutlich tieferen Temperaturen so stark verändern, dass eine Korrelation zur Praxis unmöglich wird. Auffällig ist, dass die Messwerte beim Antioxidanten beim 120-°C-

Versuch und in der Anwendung vergleichbar sind. Offensichtlich korrelieren hier Versuch und Praxis.

Werden die Antioxidantmessungen aus der Praxis mit der Abbaulinie der FE9-Prüfung bei 120 °C zur Deckung gebracht, dann entsprechen 180 Stunden FE9-Laufzeit einer Laufleistung von 363.000 km. Auf Basis des Antioxidanzustandes können Aussagen zur weiteren Schmierstoffgebrauchsdauer gemacht werden. Nach 65 Stunden FE9 oder 70.000 km in der Praxis besitzt der Schmierstoff noch 87 % Schmierpotential, nach 180 Stunden oder 363.000 km Praxiseinsatz noch 64 %. So ist eine Umrechnung in Stunden beziehungsweise in Kilometerleistung bis zum Zeitpunkt des vollständigen Antioxidantabbaus möglich.

Diese Gebrauchsdauerprognose basiert ausschließlich auf der Abbaugeschwindigkeit des Antioxidanten bei Betriebstemperatur. Wie der Versuch bei 180 °C zeigt, verfügt das Grundöl jedoch auch nach Abbau des Antioxidanten über hohes Lebensdauerpotential.

Alterungsmechanismus verläuft in der Praxis und im Prüfstand analog

Die Untersuchungen bei Klüber lieferten den Nachweis, dass sich der Abbau des Antioxidanten in einer Praxisanwendung bei 120 °C genauso verhält wie im FE9-Prüfstand bei gleicher Temperatur. Der Alterungsmechanismus verläuft also in der Praxis und im Prüfstand analog und deshalb können die Prüfstandsergebnisse auf die Praxis übertragen werden. Über diesen Zusammenhang lassen sich die Versuchslaufzeiten mit Praxislaufzeiten vergleichen und Prognosen erstellen.

Neben den üblichen Ergebnissen mechanisch-dynamischer Prüfstände, die meist Werte zu Verschleiß, Reibmoment, Laufzeit oder maximaler Last ausgeben, ist diese Kombination zwischen Tribometrie und chemischer Analytik eine Möglichkeit, tieferen Einblick in die Funktion und die Zusammenhänge zwischen Schmierstoff und Maschinenelement zu bekommen. Dabei kann der Schmierstoff unter betriebsähnlichen Bedingungen betrieben werden und wird nicht entlang seiner Einsatzgrenzen überstrapaziert, nur um eine möglichst kurze Versuchszeit zu erreichen.

In Kenntnis des „Schmierstoff-Lebenslaufes“ können zukünftig Schmierstoffproben der Kunden von Klüber hinsichtlich der noch zu erwartenden Laufleistung interpretiert werden. So können Servicezeiten und mögliche Ausfälle der Lagerung inklusiv der damit verbundene Reparaturkosten reduziert werden.

