

Jens Krallmann und Hans-Heinrich Harms, Braunschweig

Online-Überprüfung von Hydraulikölen

Das Hydrauliköl ist eine der zentralen Komponenten mobiler Arbeitsmaschinen. Sein übermäßiger Verschleiß hat fatale Auswirkungen für Maschine und einzelne Komponenten. Daher enthalten die vorgeschriebenen Wechselintervalle einen großen Sicherheitsfaktor, der häufig zu Ölwechseln führt, obwohl es sich noch in einem guten Zustand befindet. Eine flexible Gestaltung der Wechselintervalle und eine Ermittlung unerwarteter Veränderungen war bisher nur durch eine Ölanalyse im Labor möglich. Ein neuartiger Sensor bietet das Potenzial, den Ölzustand auch in Echtzeit (online) zu überprüfen.

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jens Krallmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik (ILF) der Technischen Universität Braunschweig, Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Hans-Heinrich Harms); e-mail: j.krallmann@tu-bs.de
Das Forschungsvorhaben „Entwicklung eines OCM-Systems zur Zustandsüberwachung bei biologisch schnell abbaubaren Hydraulikölen in mobilen Anwendungen“ wird finanziell vom BMBF unterstützt. Der Sensor wurde in einem gemeinsamen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der HYDAC Electronic GmbH und den Instituten für „Landmaschinen und Fluidtechnik“ sowie „Mikrotechnik“ der TU Braunschweig entwickelt.

Schlüsselwörter

Zustandsüberwachung in Echtzeit, Hydrauliköl, Ölsensorik

Keywords

Online condition monitoring, hydraulic fluids, oil sensors

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 05314 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

So vielfältig wie die Aufgaben der Hydrauliköle (Leistungs- und Signalübertragung, Wärme- und Stofftransport, Schmierung, Korrosionsschutz) sind auch die Einflussparameter, die eine Alterung der Fluide verursachen. Unter Alterung sind die chemischen und physikalischen Veränderungen der Öle zu verstehen, die durch unterschiedliche Belastungen hervorgerufen werden. Der Abbau von Additiven und die Änderungen im molekularen Aufbau der Fluide führen zu einer Verschlechterung der Eigenschaften [1, 2].

Eine Bewertung oder Gewichtung der einzelnen Belastungen ist praktisch nicht möglich, da aufgrund der Vielzahl der Einflüsse und deren Interdependenzen Vergleiche zwischen mehreren Maschinen kaum zu realisieren sind. Die Erkenntnisse der Ölalterung basieren zum größten Teil auf empirischen Untersuchungen; umfassende physikalische und chemische Modelle für diese Prozesse existieren nicht.

Gründe für die Ölalterung

Aufgrund der Untersuchungen können jedoch die für die Mobilhydraulik wichtigsten Parameter der Alterung identifiziert werden. Diese sind Sauerstoff, Wasser, feste Partikel (insbesondere metallische Partikel) und die Temperatur. Letztere ist entscheidend für die Geschwindigkeit, in der die chemischen Prozesse ablaufen, und insbesondere bei mobilen Arbeitsmaschinen liegen die Betriebstemperaturen deutlich höher als bei stationären Anlagen.

Die Stabilität gegenüber den Alterungsmechanismen hängt darüber hinaus sehr stark vom verwendeten Grundöl ab. Biologisch schnell abbaubare Öle auf Basis natürlicher Rohstoffe sind im Allgemeinen anfälliger für die Reaktion mit Wasser und Sauerstoff als Mineralöle. Dagegen können biologisch schnell abbaubare synthetische Ester häufig eine bessere Stabilität als mineralische Öle aufweisen [3, 4].

Messgrößen

Zur vollständigen Charakterisierung eines Ölzustandes sind mehrere Messgrößen notwendig, welche die Eigenschaften, die Zusammensetzung und Fremdstoffe bestimm-

men. Einige der wichtigsten sind die Viskosität, der Gehalt an Additiven, die Anzahl an Verunreinigungen und Verschleißmetallen, die Größenverteilung der Partikel und die Neutralisationszahl.

Bei der Entwicklung eines neuartigen Sensors stand die Forderung nach einer miniaturisierten und kostengünstigen Lösung im Vordergrund, um ein großes Anwendungsspektrum auch in mobilen Arbeitsmaschinen zu ermöglichen.

Die Auswahl der Messgrößen, welche die Alterung charakterisieren, fiel auf die Viskosität und die Dielektrizitätszahl. Die Viskosität des Öls ist eine entscheidende Kenngröße, die mit fortschreitender Alterung ansteigt. Die Dielektrizitätszahl bietet eine gute Korrelation zur Neutralisationszahl und ist mit relativ einfachen Mitteln messbar. Die Neutralisationszahl gibt Informationen über Abbauprodukte und ist nur im Labor mit Hilfe von Titration messbar. Da sowohl die Viskosität als auch die Dielektrizitätszahl stark temperaturabhängig sind, wurden die Sensorelemente für diese Messgrößen zusammen mit einem Temperatursensor auf einem quadratischen Quarzsubstrat mit einer Kantenlänge von 16 mm integriert (Bild 1).



Bild 1: Öl-Multisensor (Foto: IMT)

Fig. 1: Oil-multi-sensor (photo: IMT)

Die Messung der Temperatur erfolgt über eine Widerstandsleiterbahn und das Dielektrikum wird über die Kapazität zwischen zwei in einer Ebene liegenden Kondensatorplatten gemessen. Die Ermittlung der Änderungen in der Viskosität wird über die Dickenschwingung des Quarzes bestimmt. Mittels einer Oszillatorschaltung und aufgrund des piezoelektrischen Effektes führt der Quarz eine Scherbewegung durch

(Bild 2), welche abhängig von der Masse des Quarzes und der Anhaftungen ist. Beim Einsatz in Flüssigkeiten bestimmen die Dichte und die Viskosität diese Veränderungen. Da sich die Dichte während der Alterung nur sehr geringfügig ändert, ist vor allem die Viskosität entscheidend für die Messung.

Zusätzlich befindet sich neben dem Quarz ein weiterer Sensor, der die relative Feuchtigkeit des Öls misst. Dieser Wert lässt keinen unmittelbaren Rückschluss auf den Zustand des Öls zu, ist aber eine wichtige Kenngröße, da freies Wasser die Alterungsprozesse beschleunigt und Kavitationserscheinungen hervorrufen kann. [5]

Versuche

Für die Sensorentwicklung wurden verschiedene Versuche in stationären Versuchständen unternommen, in denen Öle gezielt gealtert wurden, um das Verhalten des Sensors zu analysieren. Bild 3 zeigt die normierten Messungen der Resonanzfrequenz und der Dielektrizität in einem Versuch mit überwiegend thermisch-oxidativer Alterung. Die Schwankungen zu Beginn der Messungen sind bedingt durch bewusst herbeigeführte Temperatursprünge, welche für die Funktionsanpassung der Normierung notwendig waren. Nach einer gezielten Anpassung wurden die Einflüsse der Temperatur kompensiert. Im Weiteren ist deutlich der typische Verlauf eines Ölalterungsprozesses zu erkennen. Der Messschrieb zeigt zu Beginn eine Phase, in der kaum Veränderungen im Öl auftreten. Nach etwa 450 Stunden beginnt eine beschleunigte Alterung, was am Abfallen der Resonanzfrequenz und am Anstieg der Dielektrizität zu erkennen ist. Gegen Ende des Versuches wurde zu zwei Zeitpunkten Frischöl in der Größenordnung von 10 % zugegeben. Es ist zu erkennen, dass die Messwerte eine entsprechende Verschiebung erfahren. Der Prozess der Alterung kann durch die Nachfüllung jedoch nicht aufgehalten werden, da die Steigungen der Verläufe sich praktisch nicht ändern. Durch die bereits

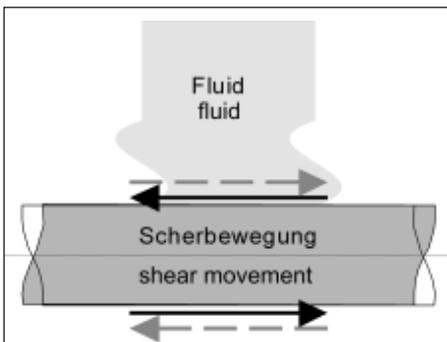


Bild 2: Dickenscherschwingung [6]

Fig. 2: Thickness shear movement [6]

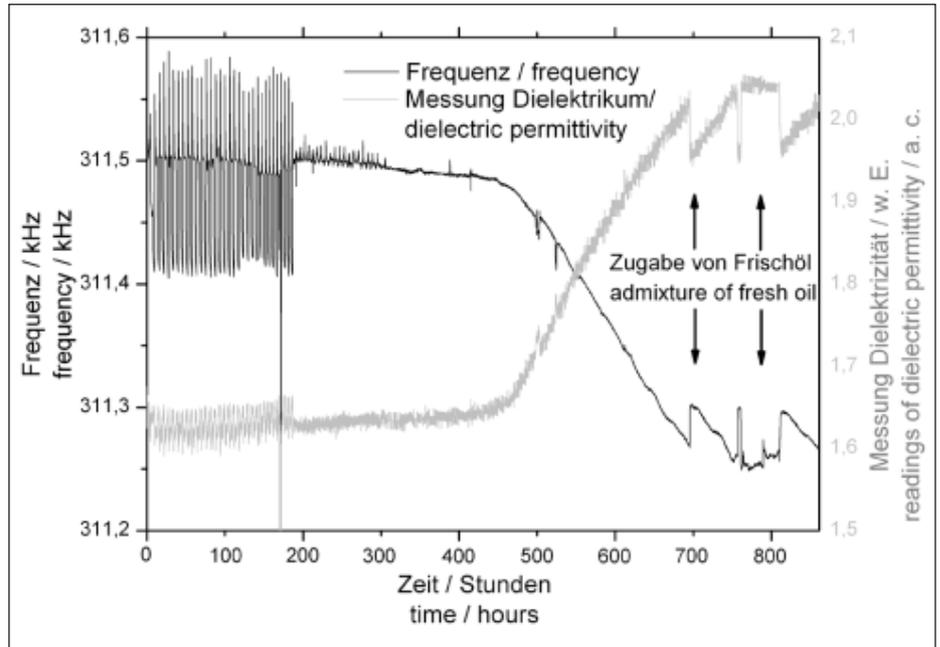


Bild 3: Messungen (Daten: HYDAC Electronic GmbH)

Fig. 3: Readings (Data: HYDAC Electronic GmbH)

eingesetzte und stark fortgeschrittene Alterung befinden sich zahlreiche chemische Abbauprodukte im Öl, die eine beschleunigende und katalytische Auswirkung auf den Prozess selbst haben. Daher kann ein einmal gestarteter Alterungsprozess kaum gestoppt werden.

Auswertung

Für den komfortablen Einsatz des Sensors in einer mobilen Arbeitsmaschine ist es notwendig, eine automatisierte Auswertung der Daten vorzusehen. Problematisch hierbei ist, dass für die Bestimmung der absoluten Viskosität ein Kennfeld für das Öl aufgenommen werden muss. Da in der Praxis jedoch sehr viele verschiedene Öle eingesetzt werden, deren Zusammensetzung sich ebenfalls häufig ändern kann, würde dieses einen sehr großen Aufwand bedeuten. Daher findet eine Auswertung der Daten nur auf Basis der Messdaten statt. Die Analyse der Alterung erfolgt anhand der absoluten Änderungen der Frequenz und der Dielektrizität, sowie deren Gradienten. Für die Auswertung kommen mehrere Verfahren in Betracht. Eine Klassifizierung erfolgt in verschiedene Merkmalsklassen von gut bis schlecht. Die derzeit favorisierten Verfahren der Klassifizierung sind Parametrische Templates und Neuronale Netze. Parametrische Templates teilen den mehrdimensionalen Merkmalsraum durch Grenzen in verschiedene Klassen ein, welche zuvor bestimmt werden müssen. Diese Methode erfordert viel Erfahrung und Wissen. Sie lässt sich jedoch einfach implementieren. Neuronale Netze realisieren die Zuordnung über die nicht-lineare Transformation der Merkmalsvektoren.

Für den Einsatz des Verfahrens bedarf es einer hinreichenden Menge an Lerndatensätzen, mit denen das Netz trainiert wird. Die Vorteile liegen in der automatisierten Erstellung der Zuordnungsregeln und einem robusten Verhalten gegenüber Datensätzen, die außerhalb des erlernten Parameterraums liegen. Die selbstständige Erstellung der Regeln führt jedoch dazu, dass der Anwender die Logik der Zuordnung nicht ermitteln kann [7, 8].

Erste Ergebnisse und Ausblick

Erste Ergebnisse der Echtzeit-Überprüfung im Hydrauliksystem eines Standardtraktors zeigen deutlich, dass der Sensor in der mobilen Umgebung zuverlässig arbeitet. Die Untersuchungen hierzu werden aktuell noch fortgesetzt.

Weitere Ziele für das Projekt sind die Ausweitung der Tests auf andere Versuchsträger und die Optimierung der automatisierten Datenauswertung.

Vorschau

Für die August-Ausgabe Ihrer LAND-TECHNIK bereiten wir für Sie vor:

- Zur Verdichtung von Maishäckselgut
- Laser zum Messen morphologischer Pflanzenparameter
- Mähdrescherhäcksler
- Haltungsverfahren für ferkelführende Sauen mit Auslauf
- Vergärung landwirtschaftlicher Substrate in Feststofffermentern
- Aufbereitung landwirtschaftlicher Abwässer