

Atomspektroskopische und ferrografische Analyseverfahren zum Nachweis von Verschleißpartikeln im Schmieröl

Prof. Dr.-Ing. E. Rast, KDT/Dr. rer. nat. R. Kranemann, KDT/Dipl.-Ing. H. Bage
Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Technologie der Instandsetzung

1. Einführung

Tribologische Systeme sind für den Bereich der Instandhaltung von besonderem Interesse, dabei vor allem die unter den jeweiligen Beanspruchungsbedingungen an der Abnutzung beteiligten Elemente. In Lagern, Getrieben oder anderen Reibpaarungen kommt es durch Verschleiß zum Abrieb der sich berührenden Metalle. Die Abriebteilchen (Verschleißpartikel) reichern sich im Schmieröl an. Ihre Menge oder auch ihre Größenverteilung sind aussagefähige Indizien zur Einschätzung des Schädigungszustands.

Funktion, Zuverlässigkeit, Sicherheit und Lebensdauer der Maschinen und Ausrüstungen werden durch die Abriebteilchen maßgeblich beeinflusst. Weiterhin ist ihr Einfluß auf Material- und Energieverbrauch sowie auf Produktionsausfälle durch Schäden und instandhaltungsbedingte Stillstandszeiten von Bedeutung (Bild 1).

Im Beitrag werden die Verfahren der Ölanalyse mit Hilfe des Atom-Absorptions-Spektrofotometers und des Ferrografen vorgestellt.

2. Verschleißpartikelbestimmung

Die Verschleißpartikelbestimmung im Schmieröl setzt ein geschlossenes System voraus, wie es z. B. bei Schmierölkreisläufen von Verbrennungsmotoren, Achstriebern und Fahrzeuggetrieben der Fall ist.

In der technischen Diagnostik ergeben sich folgende Anwendungsbereiche:

- Nachweis der im Öl suspendierten Teilchenkonzentration
- Untersuchungen des Zusammenhangs zwischen Verschleißteilchenkonzentration und Schädigungsverlauf
- Nachweis der Schadensortentstehung
- Ermittlung von Abnutzungsverläufen und Schadensgrenzmaßen

- vergleichende Wertung der Meßergebnisse und Diagnoseresultate anderer Verfahren der Ölanalyse
- Festlegung der Ölwechselintervalle nach Diagnosebefund.

Von den möglichen chemischen und physikalischen Verfahren (Tafel 1) wurden zwei für die durchzuführenden Analysen ausgewählt, die hinsichtlich Aufwand und Analysergebnis am günstigsten geeignet erscheinen, die Atomabsorptionsspektroskopie und die Ferrografie. Letztere ist notwendig, weil das Verfahren der Atomspektroskopie keine Aussagen über Form und Größenverteilung der Verschleißpartikel liefert.

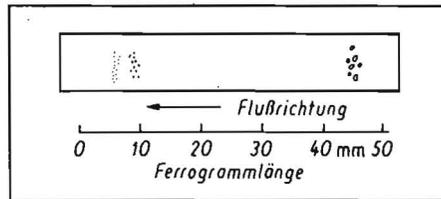
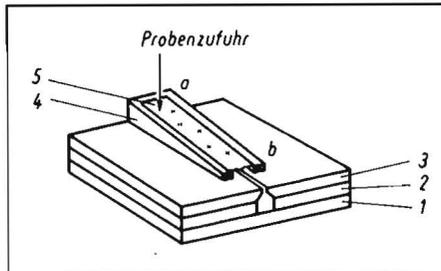


Bild 3. Verschleißpartikelverteilung auf einem Ferrogramm

Bild 4. Prinzipdarstellung eines Ferrografen; Erläuterung im Text



2.1. Atom-Absorptions-Spektrofotometrie

Für die fotometrische Spurenanalyse wurde das vom Kombinat VEB Carl Zeiss JENA entwickelte Atom-Absorptions-Spektrofotometer AAS3 verwendet (Bild 2). Durch einen 8-bit-Rechner mit 64-K Byte-Speicher, eine leistungsfähige Optik sowie eine Mechanik hoher technischer Durchbildung ist es möglich, analytische Untersuchungen an organischen und anorganischen Substanzen aus vielen Anwendungsbereichen durchzuführen. Der quantitative Anteil der einzelnen Legierungsbestandteile ist mit sehr hoher Genauigkeit erfaßbar. Wenn eine Zuordnung der spektroskopisch ermittelten Elementkonzentration zu den Bauteilen vorgenommen werden soll, muß die werkstofftechnische Zusammensetzung der Baugruppenelemente bekannt sein. Die atomspektroskopische Ölüberwachung ist aufwendig und des-

Tafel 1. Verfahren zur Messung von Verunreinigungen in Betriebsmedien

- **Chemische Analyseverfahren**
 - Emissions- oder Atom-Absorptions-Spektrofotometrie
 - Elektronenspektroskopie (ESCA)
 - Massenspektrometrie
 - Röntgenfluoreszenz
- **Physikalische Methoden**
 - Magnetstopfen, Filter
 - Ferrografie
 - Partikelgrößenbestimmung, optische und elektronenoptische Bestimmung der Partikelform
- **Bestimmung der Öleigenschaften**
 - Viskosität
 - Flammpunkt
 - unlösliche Rückstände
 - pH-Wert
 - Aschegehalt
- **Gasanalyse**
 - Nachweis von Gasen in Flüssigkeiten und Gasen in Gasen

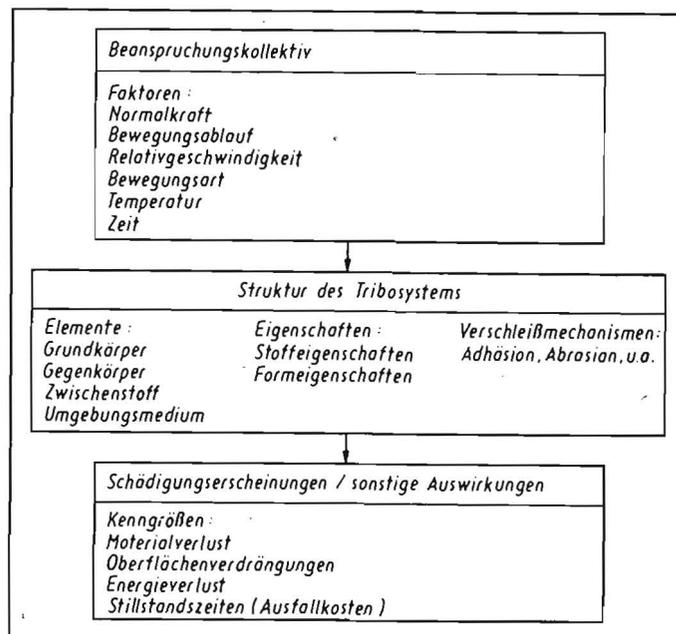
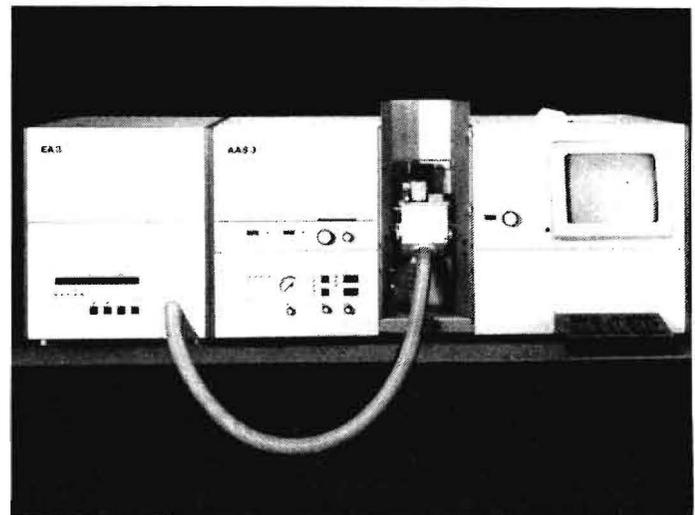


Bild 1. Darstellung tribologischer Systemzusammenhänge

Bild 2. Atom-Absorptions-Spektrofotometer AAS3 mit dem Elektrothermischen Atomisator EA3



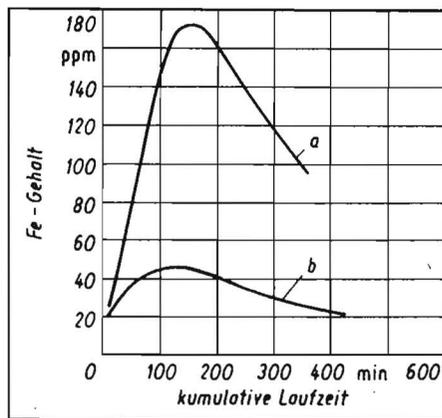


Bild 5. Fe-Gehalt im Schmieröl in Abhängigkeit von der Laufzeit beim Motorbetrieb mit unterschiedlichen Ölfiltersystemen; a Lamellenfiltersystem, b Papierfiltersystem

halb ökonomisch nur vertretbar, wenn große Probemengen kontinuierlich zu analysieren sind.

Für die Bestimmung bzw. Einschätzung des Schädigungszustands ist die Elementkonzentration im Fluid allein nicht ausreichend. Die Verschleißpartikel, besonders ihre Größenverteilung, muß überwacht werden. Für die qualitative Erfassung der ferromagnetischen Abriebpartikel erweist sich die Ferrografie als relativ einfache Methode.

2.2. Ferrografie

Mit dem ferrografischen Analyseverfahren, das im Jahr 1971 in den USA entwickelt wurde, können magnetische Abriebpartikel in Schmierölen nach Menge, Form, Größe und Aussehen untersucht und bestimmt werden [1].

Die ferromagnetischen Verschleißteilchen scheiden sich in einem inhomogenen Magnetfeld entlang einer Meßstrecke mit unterschiedlicher magnetischer Feldstärke ab (Bild 3).

Mit der Ferrografie können nur ferromagnetische Partikel im Öl ermittelt werden. Andere Verschleißbestandteile und Verunreinigungen im Öl (Ruß, Wasser) können die Meßergebnisse negativ beeinflussen. Die Ölproben sind mit einem Lösungsmittel zu verdünnen und für die Analyse aufzubereiten. Verschleißpartikel der Größe 1 µm sind gut zu bestimmen.

Im Bild 4 ist das Prinzip eines Ferrografen dargestellt. Auf der Grundplatte 1, die als magnetische Rückführung verwendet wird, befinden sich zwei Dauermagnete 2 mit zugeordneten Polstücken 3. Die Vorderkanten der Polstücke 3 sind nur durch einen schmalen Spalt voneinander getrennt, so daß zwischen den Kanten ein starkes Magnetfeld mit einem sehr großen Gradienten im Luftspalt ausgebildet wird. Dieser Gradient ist nach unten gerichtet. Die Trägerplatte 5 ist durch den Keil 4 unter einem Winkel von etwa 1° zur Ebene der Polstückkanten geneigt. Dadurch nimmt das magnetische Feld entlang dem Träger bis zum Punkt b stetig zu.

Das mit Verschleißpartikeln angereicherte Öl, das mit Lösungsmitteln vorverdünnt ist,

um die Freibeweglichkeit der Teilchen zu gewährleisten, wird am Punkt a mit gleichbleibender Geschwindigkeit zugeführt und fließt am Punkt b wieder ab. Mit der Teilchengröße erhöht sich das Verhältnis von Volumen zur Oberfläche. Da der Viskositätswiderstand der Oberfläche, die Magnetisierung der Teilchen jedoch in erster Näherung dem Volumen proportional ist, setzen sich die größeren Teilchen auf dem Träger zuerst ab. Es kommt zu einer Größenfraktionierung von a nach b.

3. Laboruntersuchungen und Breitentests

In spezialisierten Betrieben der Landtechnik werden jährlich etwa 80000 Vierzylinder-Diesel-Motoren instand gesetzt. Von entnommenen Ölproben wurden Analysen durchgeführt, um die Filterwirksamkeit festzustellen. Untersucht wurden Motoren, die mit Lamellen- und Papierfiltersystemen ausgerüstet sind.

Die Ergebnisse der spektrografischen bzw. ferrografischen Analysen der Ölproben aus den instand gesetzten Dieselmotoren sind in den Bildern 5 und 6 wiedergegeben [2]. Zur besseren Übersichtlichkeit wurden nur die Mittelwertkurven der Motorenserie für die beiden Filtersysteme (Bild 5) dargestellt. Während der Einlaufphase wurden 5 Ölproben entnommen. Aus den Ergebnissen der ersten Ölprobe kann auf die Qualität des Instandsetzungsprozesses geschlossen werden, d. h. die Sauberkeit bzw. Verschmutzung der Zylinder-Kolben-Gruppe (Beispiel: 77 ppm Fe-Gehalt bzw. 20 ppm Fe-Gehalt).

Der Fe-Gehalt steigt anfangs progressiv an, erreicht nach rd. 180 min die höchste Konzentration und fällt danach durch die weitere Filterung stark ab. Dabei erweist sich das Papierfiltersystem gegenüber dem Lamellenfiltersystem als wirksamer.

Die Ferrogramme (Bild 6) verdeutlichen, daß der Anteil großer Teilchen > 5 µm, die sich an der Auftretsstelle ablagern, reduziert wird. Die Untersuchungsergebnisse werden in Zusammenhang mit weiteren Analysen zur Verbesserung der Instandsetzungsqualität mit in die Auswertung einbezogen.

Zur Getriebeölanalyse soll im Rahmen dieses Beitrags nur auf einige hauptsächliche Aspekte aus den gesammelten Erfahrungen eingegangen werden:

- Laboruntersuchungen der Getriebeöle verschiedener Getriebetypen [3] lassen den Schluß zu, daß die Spektroskopie und die Ferrografie für eine Schädigungsdiagnose geeignet sind.
- Systematische Untersuchungen zur Diagnosesicherheit an einem ausgewählten Getriebe ZG KMR 80 K4 zeigten, daß mit den aufgeführten Verfahren reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden können.

4. Zusammenfassung

Für die vorbeugende Instandhaltung der Technik spielen Verschleißuntersuchungen eine bedeutende Rolle. Durch sie sind eine Überwachung des Trendverlaufs des Verschleißes, eine Schadensfrüherkennung, eine Restbetriebsdauerprognose und eine Verschleißlokalisierung möglich. Als Analy-

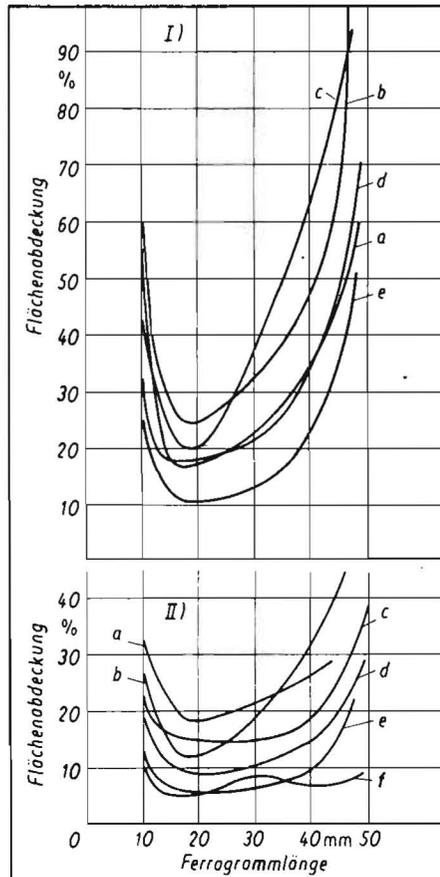


Bild 6. Prozentuale Flächenabdeckung der Verschleißpartikel im Ferrogramm bei Ölfilterung durch Lamellenfilter (I) und durch Papierfilter (II); I) a 1. Probe 24 ppm, b 2. Probe 67 ppm, c 3. Probe 141 ppm, d 4. Probe 172 ppm, e 5. Probe 104 ppm II) a 1. Probe 21 ppm, b 2. Probe 37 ppm, c 3. Probe 44 ppm, d 4. Probe 45 ppm, e 5. Probe 27 ppm, f 6. Probe 21 ppm

severfahren für die Verschleißpartikelbestimmung im Schmieröl eignen sich vorteilhaft die Atomspektroskopie und die Ferrografie. Sie bewähren sich zur technischen Diagnose in der Instandsetzung von Dieselmotoren, Getrieben u. a. Baugruppen mit geschlossenen Schmierölkreisläufen.

Literatur

- [1] Westcott, C. C.; Scott, D.: Verfahren der ferrografischen Analyse. Schmierungstechnik und Tribologie, Hannover 25 (1978) 4, S. 127-132.
- [2] Messerschmidt, F.: Untersuchungen zum Verlauf der Reibungsverluste in der Einlaufphase instand gesetzter Verbrennungsmotoren. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1987.
- [3] Kranemann, R.: Diagnoseverfahren für tribologische Systeme in stationären landtechnischen Anlagen. agrartechnik, Berlin 37 (1987) 7, S. 328-330. A 5221