

Diagnose von Dieselmotoren nach dem Zustand des Motorenöls

Prof. Dr. d. techn. Wiss. G. P. Lyschko, Institut für Landwirtschaft „M. W. Frunse“, Kischinow (UdSSR)

Die Entwicklung und Anwendung technischer Mittel und Methoden zur demontagelosen Funktions- und Zustandsüberwachung von Motoren während ihres Einsatzes ist von großem praktischen Interesse für die Sicherung der Zuverlässigkeit und der Lebensdauer sowie für die Vermeidung vorzeitiger Demontagen und Instandsetzungen.

Zur demontagelosen Beurteilung des technischen Zustands eines Motors werden z. Z. folgende Prüfmethode u. a. angewendet:

- Beurteilung des Ölverbrauchs
- Messung der Durchblasmenge von Verbrennungsgasen in das Kurbelgehäuse
- Kompressionsdruckmessung
- Schwingungsmessung am Motor
- Prüfung des Motors mit Hilfe akustischer Verfahren
- Prüfung mit Hilfe radioaktiver Isotope.

Einige dieser Methoden lassen aber nur indirekte Schlüsse über den technischen Zustand des Motors zu, andere wiederum sind unter Betriebsbedingungen begrenzt anwendbar. Der technische Zustand und die Restnutzungsdauer eines Motors können aber auch nach der Menge des Metallabriebs von den Oberflächen der Verschleißpaarungen, gemessen in einer bestimmten Motorbetriebszeit, eingeschätzt werden.

Diese Methode geht davon aus, daß sich die Intensität der Anhäufung von Verschleißprodukten im Motorenöl und in den Ablagerungen des Rotationsfilters proportional zum Zustand des Motors verhält. Mit größer werdendem Spiel in den Reibpaarungen erhöhen sich der Verschleiß und damit die Konzentration des Abriebs im Öl. Durch Bestimmen des Eisengehalts im Motorenöl und in den Ablagerungen des Rotationsfilters für eine genau festgelegte Nutzungsdauer des Motors im stationären Lastbereich und durch entsprechende Verschleißmessungen an den Zylinderpleitbuchsen im Bereich der höchsten Beanspruchung sowie durch Messung des Spieles an den oberen Pleitringen und an anderen Teilen wird der Zusammenhang zwischen diesen Parametern nachgewiesen.

Aufgrund von analogen Versuchen an einem Motor innerhalb einer bestimmten Nutzungsdauer, in der sich sein technischer Zustand ändert, wird eine Vergleichstabelle zusammengestellt, in die die Menge des Metallabriebs von den Oberflächen der Motorenteile eingeht. Neben dieser Tabelle läßt sich nach der Menge des Metallabriebs und des ihm zugeordneten Verschleißes ein Nomogramm aufstellen, mit dem der technische Zustand des Motors und seine Restnutzungsdauer grafisch dargestellt werden können.

Bild 1 stellt ein solches Nomogramm für die Motoren D-50 und SMD-14 A dar, wobei Motorenöl M 12 W und Dieselmotorenkraftstoff mit einem Schwefelgehalt bis 0,5 % zugrunde gelegt wurden.

Dieses Nomogramm wurde experimentell auf dem Prüfstand ermittelt. Dazu wurden neue Motoren entsprechend eingefahren, um die technischen Voraussetzungen für normale Betriebsbedingungen zu schaffen. Darauf folgten regelmäßige Diagnose- und Verschleißzyklen. Unter einem *Diagnosezyklus* ist dabei

eine Motorbetriebszeit von 60 h mit einer Teillast von 80 % der Nennleistung zu verstehen, während der die Veränderung der Schmierstoffqualität und der Gehalt an Verschleißprodukten im Öl bestimmt wird. Die Betriebszeit von 60 h wurde gewählt, damit sich eine genügend große Menge Abrieb im Öl absetzen kann und der Fehler beim Bestimmen der Verschleißmenge möglichst klein wird.

In den *Verschleißzyklen* (Dauer 18 h) werden die wesentlichen Verschleißteile des Motors beschleunigt auf einen Zustand gebracht, der einer Betriebsdauer von 800 bis 1000 h unter normalen Betriebsbedingungen entspricht.

Vor jedem Diagnosezyklus wurden die Hauptteile des Motors zur Anfertigung eines technischen Gutachtens sorgfältig gereinigt, zerlegt und vermessen. Anschließend erfolgte ein zehnstündiger Lauf mit frischem Motorenöl. Insgesamt wurden 5 Diagnose- und 5 Verschleißzyklen gefahren, die zu einem Verschleiß des Motors führten, der eine Grundinstandsetzung erforderte. Nach jedem Diagnosezyklus wurden mittlere Proben des Motorenöls und der Ablagerungen aus dem Rotationsfilter entnommen, die Konzentration der Verschleißprodukte bestimmt und die Gesamtmenge des Abriebs errechnet. Daraus ergaben sich Werte für die Abhängigkeit zwischen der abgetragenen Metallmenge und dem Verschleiß der wichtigsten Motorenteile. Neben dem Bestimmen der Verschleißprodukte wurden die Ölproben hinsichtlich Viskosität, Basenzahl und Anteil unlöslicher Ablagerungen untersucht.

Der linke Teil des Nomogramms baut auf einer Einschätzung des technischen Zustands von Traktorenmotoren über die Betriebsdauer auf. Dazu wurden 5 Gruppen von Traktoren zu je 3 bis 5 Einheiten mit unterschiedlicher Betriebszeit, d. h. mit unterschiedlichem technischen

Zustand vor der Grundinstandsetzung ausgewählt. Die dargestellten Funktionen stellen den Zusammenhang zwischen der Betriebsdauer und dem mittleren Verschleiß der Zylinderpleitbuchsen im Bereich der höchsten Verschleißbeanspruchung dar.

Für die Einschätzung des technischen Zustands und der Restnutzungsdauer eines Motors unter Einsatzbedingungen des Traktors sind folgende Arbeiten notwendig:

- Wechsel des Motorenöls bei der nächsten anfallenden Instandhaltungsmaßnahme, wobei die Intervalle genau nach Vorschrift des Herstellers einzuhalten sind
- Einsatz des Traktors unter normalen Betriebsbedingungen während 60 h bzw. bis zum Verbrauch der entsprechenden Kraftstoffmenge
- Entnahme einer mittleren Probe Motorenöl und einer Probe der Ablagerungen des Rotationsfilters, Bestimmung der Menge der Ablagerungen und Bestimmung der Gesamtmenge des Metallabriebs während einer Betriebszeit von 60 h
- Bestimmung des Siliziumgehalts des Öls
- Bestimmung des technischen Zustands des Motors (Verschleiß der Zylinderpleitbuchsen im Bereich der höchsten Beanspruchung) und seiner Restnutzungsdauer nach der Gesamtmenge des Metallabriebs (Pfeil im Bild 1).

Das Ergebnis ist real, wenn der Siliziumgehalt des Öls einen Wert von 0,006 % nicht übersteigt. Ein höherer Siliziumgehalt deutet auf einen Funktionsfehler des Luftfilters hin, wodurch zu viele Staubpartikel in den Motor eindringen und zusätzlichen Verschleiß der Motorenteile verursachen. Die Gesamtmenge des Metallabriebs von den Oberflächen der Verschleißpaarungen führt in diesem Fall zu keiner objektiv einwandfreien Einschätzung des technischen

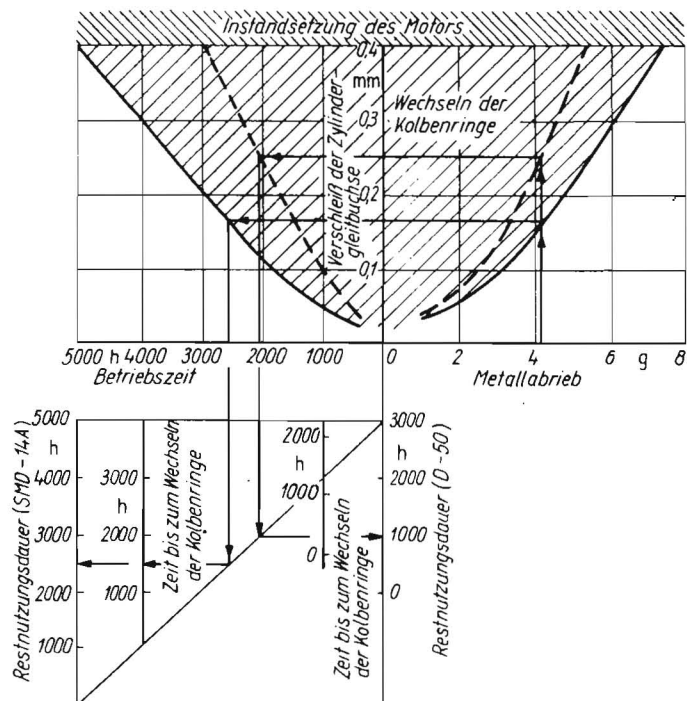


Bild 1
Nomogramm zur Einschätzung des technischen Zustands und der Restnutzungsdauer der Motoren D-50 und SMD-14 A:
--- D-50
— SMD-14 A

Zustands eines Motors, weil sie mit einem Zufallsfaktor behaftet ist.

Der Betrieb des Motors kann weiterhin durch eine stark abfallende Basenzahl des Öls, hervorgerufen durch die Verwendung von Kraftstoff mit hohem Schwefelgehalt, oder durch die Verminderung der Viskosität des Öls, infolge eines Ausfalls von Einspritzdüsen usw. beeinträchtigt werden.

In diesem Fall muß der Diagnosezyklus abgebrochen und neu begonnen werden, da sonst die erzielten Ergebnisse nicht den tatsächlichen technischen Zustand des Motors widerspiegeln, wie er dem normalen Einsatz des Traktors entspricht. Vor der Wiederholung des Diagnosezyklus ist der Fehler im Motor zu ermitteln und zu beseitigen.

Im Bild 2 ist der Verlauf einiger Kennwerte des Motorenöls nach 60 h in Abhängigkeit vom technischen Zustand der Motoren D-50 und SMD-14 A dargestellt.

Der rechte Teil des Nomogramms (Bild 1) kann neben dem betrachteten Verfahren auch nach den Ergebnissen der Diagnosezyklen unter Betriebsbedingungen der Traktoren aufgestellt werden. Dabei sind mehrere Traktorengruppen mit unterschiedlicher Nutzungsdauer einzubeziehen, beginnend mit neuen Traktoren bis hin zu solchen, deren Restnutzungsdauer bis zur Instandsetzung minimal ist. Für ein aussagekräftiges Ergebnis sind in jeder Gruppe mindestens 5 Traktoren erforderlich.

Vor dem Diagnosezyklus muß der Motor zum Bestimmen des tatsächlichen Verschleißes der Zylinderpleibbuchsen teilweise demontiert werden. Der Zusammenhang zwischen dem bekannten Verschleiß der Zylinderpleibbuchsen als Mittelwert für 5 Traktoren und der Masse des Metallabriebs von den Oberflächen der Motorteile nach den Diagnosezyklen mit 60 h Betriebsdauer (Mittelwert für 5 Traktoren) wird als Kurvenverlauf im Nomogramm dargestellt.

Beim Motor SMD-14 A beträgt z. B. nach der Abriebmenge von 4,2 g der Verschleiß der Zylinderpleibbuchse im Bereich der höchsten Beanspruchung 0,17 mm (Bild 1). Das entspricht einer verbliebenen Restnutzungsdauer des Motors von 2 500 h; bis zum Wechsel der Pleibringe verbleiben noch 1 500 h.

Durch die Anwendung der betrachteten Metho-

dik können analoge Nomogramme für die verschiedenen Motorentypen angefertigt und für die Diagnose verwendet werden. Beim Aufstellen der Nomogramme und bei ihrer späteren Verwendung zur Diagnose ist besonders darauf zu achten, daß nur das für den jeweiligen Motor empfohlene Öl eingesetzt wird. Das trifft ebenso auf den zulässigen Schwefelgehalt des Diesekraftstoffs zu.

Die Bestimmung der Verschleißprodukte und des Siliziumgehalts im Öl und in den Ablagerungen sollte zweckmäßigerweise durch Spektralanalysen der Proben erfolgen.

Da die Veränderung der Betriebskennwerte sowie der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Motorenöls bei Traktorenmotoren eng mit dem technischen Zustand dieser Motoren zusammenhängt, werden diese Größen für die Überwachung der Betriebsbedingungen sowie für die Einschätzung des Zustands und der Tauglichkeit des Öls zum weiteren Betrieb eingesetzt. Diese Voraussetzung wird ergänzt durch das Bestimmen folgender Elemente im Öl: Barium und Zink als Nachweis von Additiven im Öl, Silizium und Kalzium als Verschmutzungsprodukte und als Nachweis der veränderten einzelnen Kennwerte des Öls.

Tatsächlich hängt die Veränderung der Kenngrößen des Motorenöls von den Betriebsbedingungen und den Lastbereichen des Motors ab und wird durch sie bedingt. So bewirkt eine Funktionsstörung des Luftfilters die sofortige Erhöhung des Siliziumgehalts im Öl und damit einen augenblicklichen Anstieg der Eisenkonzentration im Öl infolge der Schleifwirkung an den Pleibpaarungen. Die starke Erhöhung der Eisenkonzentration im Öl bei fehlendem Silizium weist auf einen technischen Mangel in einem der Mechanismen des Motors bzw. auf den schlechten Zustand einer Pleibpaarung durch zu großes Spiel und damit auf intensiven Verschleiß hin. Die Konzentration der Elemente Barium und Zink als Komponenten von Öladditiven zeigt das Vorhandensein aktiver Teile der Additiven im eingesetzten Öl und damit die Erhaltung der notwendigen Betriebseigenschaften an.

Der Nachweis von Additiven im eingesetzten Öl kann auch mit der Basenzahl erbracht werden. Der Abfall der Basenzahl auf Null zeigt den

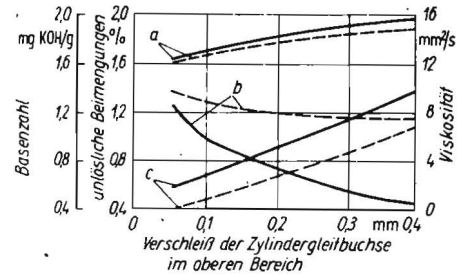


Bild 2. Ölkennwerte in Abhängigkeit vom technischen Zustand des Motors; a Viskosität bei 100°C, b Basenzahl, c unlösliche Beimengungen
--- D-50
— SMD-14 A

vollständigen Verbrauch der neutralisierenden Komponente der Additiven an, was mit der Verwendung eines Diesekraftstoffs mit zu hohem Schwefelgehalt oder mit der Verschlechterung des Verbrennungsprozesses zusammenhängen kann.

Nach der Steigerung des Gehalts an mechanischen Beimengungen im Öl kann eine Störung in der Funktion der Ölfilter bestimmt werden. Dies kann auf die vollständige Zusetzung des Rotationsfilters durch Verschmutzungen oder auf eine zu geringe Drehzahl des Rotors zurückgeführt werden, wodurch eine zu geringe Reinigung des Öls erfolgt.

Die Veränderung der Viskosität des Motorenöls hängt nicht nur von den Oxydationsprozessen und von der Polymerisation der Kohlenwasserstoffe ab, die eine Erhöhung der Viskosität bedingen, sondern auch von der Funktion der Einspritzdüsen. Wenn eine Düse defekt ist, erfolgt die Kraftstoffeinspritzung unzerstäubt als Strahl, der unverbrannt in das Pleibgehäuse abfließt und das Öl verdünnt. Damit wird die Viskosität des Öls beeinträchtigt.

Ein ähnliches Verhalten ergibt sich auch nach anderen Größen, wie Ölverbrennung, intensive Ansammlung von Ablagerungen im Rotationsfilter, Änderung des Flammpunkts und Säuregehalts des Öls, des Aschegehalts u. a. Abschließend sei bemerkt, daß die komplexe Kontrolle der Funktion eines Motors nach dem Verhalten der Ölqualität die Effektivität des Einsatzes von Traktoren merklich im positiven Sinne beeinflusst.

A 1937

Landtechnische Dissertationen

Am 25. April 1977 verteidigte Dipl.-Landw. Wolfgang Thämert an der Martin-Luther-Universität Halle, Sektion Pflanzenproduktion, erfolgreich seine Dissertation zum Thema „Untersuchungen zur Kalkulation von Instandhaltungskosten landtechnischer Arbeitsmittel unter besonderer Berücksichtigung der Traktoren“

Gutachter: Prof. Dr. habil. W. Beyer, MLU Halle

Prof. Dr. sc. P. Stopporka, MLU Halle

Dr. M. Eberhardt, Hochschule für LPG Meißen, Forschungsinstitut für sozialistische Betriebswirtschaft Böhlitz-Ehrenberg.

Bei der Kalkulation der Kosten landtechnischer Arbeitsmittel bilden die Instandhaltungskosten den Schwerpunkt. Auf der Grundlage einer Analyse der Instandhaltungskosten und theo-

retischer Untersuchungen an einem Instandhaltungskostenmodell wird ausgehend von den Ergebnissen kostendynamischer Untersuchungen und unter Berücksichtigung der Haupteinflussfaktoren eine Methodik zur Kalkulation der Instandhaltungskosten bei Traktoren entwickelt. Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Instandhaltungskosten der Traktoren sind die Nutzungsdauer und die Auslastung der Motorleistung. Mit zunehmender Nutzungsdauer steigen die Instandhaltungskosten (Gesamtkosten in Mark) progressiv an. Die Kalkulation der Instandhaltungskosten in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer erfolgt mit dem Instandhaltungskostenfaktor. Für eine bessere Methodik fehlen z. Z. die Grundlagen. Für zukünftig zu produzierende Traktorentypen muß deshalb der Instandhaltungskostenfaktor noch geschätzt werden. Ist er für eine Nutzungsdauer von mindestens 6000 Stunden analytisch be-

stimmtbar, kann seine weitere Entwicklung mit Multiplikationsfaktoren berechnet werden.

Bei zunehmender Motorbelastung steigen die Instandhaltungskosten degressiv an. Zur Kalkulation der Instandhaltungskosten in Abhängigkeit von der Auslastung der Motorleistung werden die Instandhaltungskosten für durchschnittliche Auslastung mit prozentualen Zu- bzw. Abschlägen bei über- bzw. unterdurchschnittlicher Auslastung korrigiert.

Bei Anwendung der vorgeschlagenen Methode kann auf den Kraftstoffverbrauch als Grundlage der Kalkulation verzichtet werden. Zur ständigen Aktualisierung der quantitativen Aussagen der vorliegenden Arbeit bei enger Verbindung von Analyse und Kalkulation ist die Fortführung der Untersuchungen erforderlich.

AK 1950