

und schwellenden Belastungen — ermöglicht Bewegungen der gepaarten Oberflächen gegeneinander.

Die Oberflächen werden aktiviert, wodurch Passungsrost entsteht, der zur Abtragung von Werkstoff führt. Damit vergrößert sich das Verdrehspiel, das erhöhte Beanspruchung zur Folge hat. Auftretende Belastungsstöße bewirken Verhämmerungen. Diese Kaltverformungen verspröden die Oberfläche der Mitnehmerflanken. Die durch das Spiel vergrößerte Belastung führt zur erhöhten Flächenpressung in der Kontaktphase der spielbehafteten Verbindung, so daß ein Ausbrechen des versprödeten Werkstoffs bewirkt wird. Die dadurch freierwundene Oberfläche unterliegt dem gleichen Zyklus bei erhöhter Belastung. Der Vorgang wiederholt sich, bis über die

verbleibende Mitnehmerbreite das vorhandene Moment nicht mehr übertragen werden kann. Die Formpaarung wird aufgehoben (Bild 5).

5. Zusammenfassung

Die dargestellten Ergebnisse behandeln die wesentlichen Abnutzungen von Profilverbindungen. Aus dem abgeleiteten Wirkungsmechanismus der Schädigung wird deutlich, auf welche Einflußfaktoren die Schädigung zurückgeführt werden kann, wobei sich die Komplexität der Schädigung infolge der Wechselwirkung der Einflußfaktoren offensichtlich darstellt.

Literatur

[1] Schwedler, A.: Methoden zur Bestimmung der Schadensgrenzen an getriebetechnischen Bau-

gruppen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Studie 1975 (unveröffentlicht).

- [2] Müller, J.: Aktuelle getriebetechnische Forschungsaufgaben. Maschinenbautechnik 23 (1974) H. 7, S. 324—327.
 [3] Grewatsch, R.: Untersuchungen zur Bestimmung der Schädigungsgrenzen von Welle-Nabe-Verbindungen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Studie 1977 (unveröffentlicht).
 [4] Pahl, E. J.; Bark, R.: Wege zur Schadensverhütung im Maschinenbaubetrieb. ALLIANZ-Versicherungsgesellschaft München und Berlin 1964.
 [5] Schatt, W.: Einführung in die Werkstoffwissenschaften. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1972.
 [6] TGL 0-5465 Keilwellen- und Keilnabenprofile, parallelflankig, Toleranzfelder. Ausg. v. März 1971 A 1731

Neue Erkenntnisse bei der Ermittlung des Schädigungszustands der Zylinder-Kolben-Gruppe von Dieselmotoren

Ing. W. Krause, KDT, Ing.-Büro für vorbeugende Instandhaltung beim Kombinat für Landtechnische Instandhaltung Dresden

Die Betriebstauglichkeit des Dieselmotors wird maßgebend durch den Zustand der Zylinder-Kolben-Gruppe bestimmt. Nach Stibbe [1] entfallen rd. 50% der Ausfallursachen von Motoren auf die Zylinder-Kolben-Gruppe. Zieht man weiterhin in Betracht, daß im Bereich der Landtechnik der DDR etwa jeder zehnte bis zwanzigste Dieselmotor aufgrund fehlender Bewertungskriterien ungerechtfertigt ausgetauscht und der industriellen Instandsetzung zugeführt wird, so zeigt sich, welche Bedeutung der Ermittlung aussagekräftiger Diagnoseparameter für die Zylinder-Kolben-Gruppe beizumessen ist.

Die derzeit in der Praxis vorbereiteten Diagnoseverfahren zur Bestimmung des Zustands der Zylinder-Kolben-Gruppe ermöglichen vorwiegend die Ermittlung der Brennraumdichtigkeit. Am häufigsten werden die Kompressionsdruckmessung und die Durchblasmengenmessung angewendet.

Zunehmend setzt sich auch die Messung des Luftdurchsatzes durch den mit Druckluft beaufschlagten Brennraum durch. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist, daß eine Ortung der Undichtheiten anhand des Ausströmeräusches oder eventueller Blasenbildung im Kühlwasser bzw. an mit Flüssigkeit benetzten Oberflächen erfolgen kann.

Der Nachteil der genannten Verfahren besteht in dem großen Meßfehler, der durch unterschiedliche Abdichtwirkung der Kolbenringe hervorgerufen wird. Bestimmend für die Abdichtwirkung der freibeweglichen Kolbenringe sind u. a. der momentane Versatz der Kolbenringstöße zueinander und die momentane Lage der Kolbenringstöße zur Berührungslinie zwischen Kolbenschaft und Zylindergleitbuchse. Untersuchungen von Wohllebe [2] und Stibbe [1] zeigen, daß unter ungünstigen Bedingungen der Einfluß der Kolbenringstoßstellungen auf die Brennraumdichtigkeit größer sein kann, als die Änderung der mittleren Brennraumdichtigkeit zwischen Neuzustand und Erreichen der Schadensgrenze. Bild 1 soll diesen Sachverhalt anhand der Kompressionsdruckmessung verdeutlichen.

Die* anfangs genannten Verfahren sollen deshalb nur angewendet werden, um Schäden an Einzelteilen der Zylinder-Kolben-Gruppe frühzeitig erkennen sowie abstellen zu können und somit der beschleunigten Abnutzung und Frühausfällen vorzubeugen.

Speziell zur Fehlersuche im Rahmen einer Schnellprüfung wurden auch durch Messung des Anlasserstromverlaufs und mit der Methode der Zylinderabschaltung erfolgversprechende Ergebnisse erzielt.

Bei der Anlasserstrommessung nutzt man den proportionalen Zusammenhang zwischen Anlasserstrom und Drehmoment der Kurbelwelle sowie dessen Abhängigkeit vom Kompressionsdruck aus. Der Anlasserstromverlauf wird mit Hilfe eines speziellen Oszilloskops aufgezeich-

net, wobei unterschiedliche Stromamplituden auf Undichtheiten einzelner Brennräume hinweisen.

Ebenso können durch die gleichzeitige Messung von Rauchdichte und Vollastbeschleunigung des Motors (nacheinander erfolgende Abschaltung einzelner Zylinder) aus dem Vergleich der erhaltenen Meßwerte Schlüsse auf Schäden am Motor gezogen werden.

Soweit durch äußere Einflüsse, wie Pflege, Einstell- und Montagefehler, kein Schaden an Einzelteilen der Zylinder-Kolben-Gruppe hervorgerufen wurde, bestimmt meist der auf den gleichzeitig verbrauchten Kraftstoff bezogene relative Ölverbrauch die Aussonderungsgrenze für die Zylinder-Kolben-Gruppe. Wohllebe [2] und Stibbe [1] haben nachgewiesen, daß der relative Ölverbrauch in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer progressiv zunimmt und im Normalfall die Aussonderungsgrenze für die Zylinder-Kolben-Gruppe bestimmt. Als Schadensgrenzwert wird auf der Grundlage ökonomischer Betrachtungen ein relativer Ölverbrauch von 3 bis 5% angegeben.

Problematisch ist in diesem Zusammenhang, daß der relative Ölverbrauch den Meßwert einer Langzeitmessung darstellt, die permanent während der gesamten Nutzungsdauer erfolgt. Der Einfluß unterschiedlicher Kolbenringstoßstellungen, der bei den Dichtheitsprüfverfahren als Fehlergröße auftrat, wird jedoch dadurch eliminiert.

Erfahrungsgemäß stehen zur Beurteilung des Dieselmotors nicht in jedem Fall zuverlässige Angaben über den relativen Ölverbrauch zur Verfügung.

Deshalb sollte ein Diagnoseverfahren eingesetzt werden, das ohne Motordemontage hinreichend genaue Auskunft über den Schädigungszustand der Zylinder-Kolben-Gruppe gibt. Eine wesentliche Forderung an ein derartiges Diagnoseverfahren ist die Ausschaltung unterschiedlicher Kolbenringstoßstellungen als Fehlergröße.

Säblik [3] schlägt vor, das axiale Spiel der Kolbenringe als repräsentative Verschleißkenngröße der Zylinder-Kolben-Gruppe in-

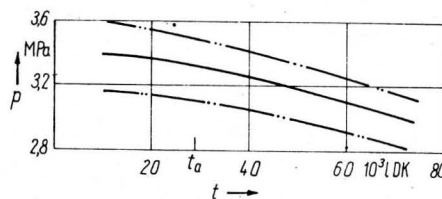
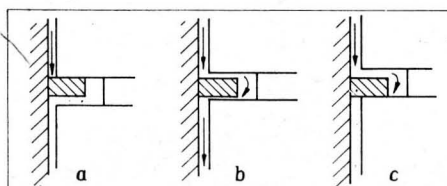


Bild 1. Abhängigkeit des Kompressionsdrucks von der Nutzungsdauer nach [1] mit relativem Meßfehler nach [2] beim Motor 4 VD 14,5/12-1 SRW (Drehzahl $n = 500$ U/min); t_a ökonomisch begründete Aussonderungsgrenze
 — Mittelwert
 - - - Fehlergrenzen

Bild 2. Grundprinzip der indirekten Axialspielmessung der Kolbenringe



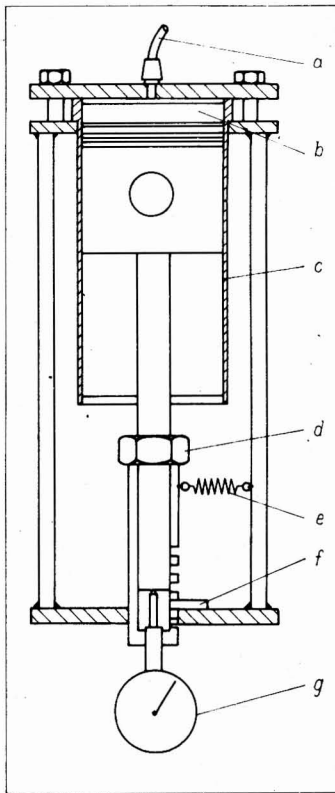
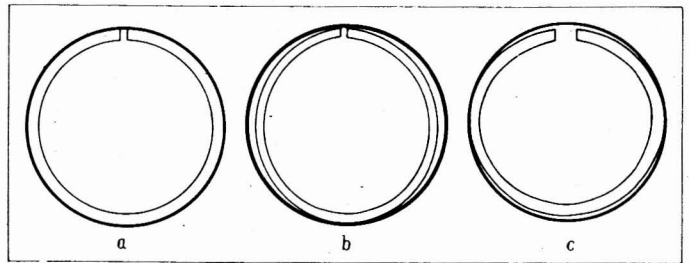


Bild 3. Prinzipieller Aufbau der Vorrichtung
a Luftanschluß, b Kolben, c Gleitbuchse,
d Feineinstellung, e seitliche Belastung,
f Grobeinstellung, g Meßuhr

Bild 6
Änderung der Berührungsfläche
zwischen Kolbenringen und Gleit-
buchse infolge unterschiedlichen
Gleitbuchsenverschleißes;
a) eingelaufene Paarung;
b) Anlage eines Kolbenrings an der
Stelle des geringsten Verschleißes;
c) Anlage eines Kolbenrings an der
Stelle des größten Verschleißes der
Gleitbuchse



direkt zu messen. Das Grundprinzip des vorgeschlagenen Verfahrens zeigt Bild 2. Aufgrund seiner Spannung haftet der Kolbenring in der Gleitbuchse. Bewegt man den Kolben, so ist es möglich, daß der Kolbenring zunächst an einer Nutflanke des Kolbens anliegt (a), dann eine Zwischenstellung einnimmt (b), bis er an der anderen Nutflanke zur Anlage kommt (c). Der zurückgelegte Kolbenweg ist über den Kurbelwinkel meßbar. Der Zeitpunkt des Abhebens von der Nutflanke bzw. des Anlegens an die andere Nutflanke wird mit Hilfe der kontinuierlichen Messung des Luftdurchsatzes durch den mit Druckluft beaufschlagten Brennraum bestimmt. Säblik [3] führte Messungen am Motor mit befriedigenden Ergebnissen durch. Eigene Untersuchungen, die mit Hilfe einer Vorrichtung (Bilder 3 und 4) durchgeführt wurden, zeigen eine Abhängigkeit des gemessenen Axialspiels der Kolbenringe von der Viskosität des verwendeten Schmiermittels. In Auswertung dessen wurde — um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten — ein Schmiermittelgemisch verwendet, dessen Viskosität annähernd der von Motorenöl bei einer Temperatur von 60°C entspricht. Überschüssiges Schmiermittel wurde mit einem Druck von 0,3 MPa über eine Zeitdauer von 2 min „ausgeblasen“. Unter den genannten Bedingungen konnte das axiale Spiel des 1. Kolbenrings bei 3 Wiederholungsmessungen und einer statistischen Sicherheit von 95 % mit einem Fehler von $\pm 11 \mu\text{m}$ gemessen werden. Die Änderung des axialen Stoßspiels des 1. Kolbenrings vom Neuzustand bis zur Aussonderungsgrenze beträgt demgegenüber für den Motor 4 VD 14,5/12-1 SRW nach Stibbe [1] 78 bis 110 μm und nach Angaben des Herstellers [4] 153 bis 185 μm .

Eine weitere Möglichkeit für die Ermittlung des Abnutzungszustands der Zylinder-Kolben-Gruppe wird darin gesehen, den Luftdurchsatz durch den mit Druckluft beaufschlagten Brennraum in verschiedenen, fixierten Kolbenstellungen zu messen. Aufgrund der Tatsache, daß die Zylindergleitbuchse über den Kolbenweg unterschiedlich stark verschleißt (Bild 5), weiten sich in verschiedenen Kolbenstellungen die Kolbenringstöße unterschiedlich stark auf. Zum anderen ändern sich die Berührungsflächen zwischen Kolbenringen und Gleitbuchse (Bild 6). Für verschiedene Kolbenstellungen ergeben sich unterschiedliche Luftdurchsätze durch den Brennraum, wenn die Gleitbuchseninnenwand von der Zylinderform abweicht. Die unterschiedlichen Stellungen der Kolbenringstöße zueinander und Undichtheiten des Brennraums gehen in die Messung als konstante Parameter ein. Sie können nach dem im Bild 7 dargestellten Prinzip weitestgehend eliminiert werden: Der Widerstand R_B , den der Brennraum dem Luftstrom entgegensetzt, wird als Parallelschaltung eines konstanten Widerstands R_2 und eines veränderlichen Widerstands R_3 definiert. Der Kolben wird zunächst in die Stellung gebracht, in der R_B sein Minimum

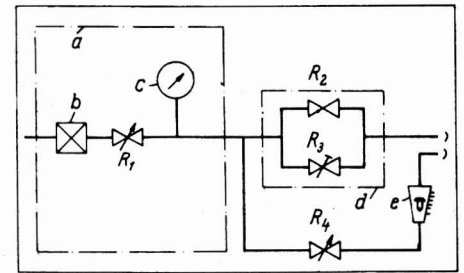


Bild 7. Meßprinzip zur Verschleißmessung der Zylindergleitbuchse;
a pneumatisches Meßgerät AEROPAN B,
b Druckminderer, c Druckmeßdose, d Brenn-
raum, e Strömungsmesser

erreicht (oberer Totpunkt). In dieser Stellung ist der Widerstand R_1 so einzustellen, daß p_2 einen definierten Wert annimmt. Der Vergleichswiderstand R_4 ist geschlossen. Im folgenden wird die Kolbenstellung hergestellt, in der R_B ein Maximum ergibt. Definitionsgemäß wird dann $R_3 \rightarrow \infty$ und p_2 steigt an. Mit Hilfe des Vergleichswiderstands R_4 wird p_2 auf seinen Ausgangswert zurückgeregelt, so daß R_4 den ursprünglichen Wert von R_3 annimmt. Der über R_4 entweichende Luftstrom kann mit dem nachgeschalteten Strömungsmesser erfaßt werden.

Erste Untersuchungen wurden mit dem im Bild 4 dargestellten Versuchsaufbau an Motoren vom Typ 4 VD 14,5/12-1 SRW durchgeführt. Es ergab sich die im Bild 5 dargestellte Dichtheitsfunktion über den Kolbenweg, deren Steilheit mit wachsendem Verschleiß zunimmt. Die Untersuchungen werden z. Z. mit Hilfe der im Bild 3 dargestellten Vorrichtung durchgeführt, wobei während der weiteren Bearbeitung verschieden stark verschlissene Zylindergleitbuchsen, von denen der spezifische Ölverbrauch bekannt ist, mit den zugehörigen Kolben und Kolbenringen vermessen werden sollen. Bemerkenswert ist, daß besonders das Axialspiel der Kolbenringe und der Verschleiß der Zylindergleitbuchse den Ölverbrauch stark beeinflussen. Die Ursachen sind in der Pumpwirkung der Kolbenringe und in ihrer abnehmenden Ölabstreifwirkung infolge der bereits erwähnten verringerten Anlagefläche zur Zylindergleitbuchse zu suchen.

In Auswertung der bisher durchgeführten Versuche wird erwartet, daß mit Hilfe der Kolbenring-Axialspielmessung und der Messung des Gleitbuchsenverschleißes der Schädigungszustand von Gleitbuchse, Kolben und Kolbenringen hinreichend genau erfaßt werden kann.

Literatur

[1] Stibbe, J.: Ermittlung von technisch-ökonomisch begründeten Schadensgrenzwerten der Zylinder-

Bild 4. Versuchsaufbau für die indirekte Axialspielmessung der Kolbenringe

Bild 5. Gleitbuchsenverschleiß (a) und Leckverlust im Brennraum (b) in Abhängigkeit vom Kolbenweg

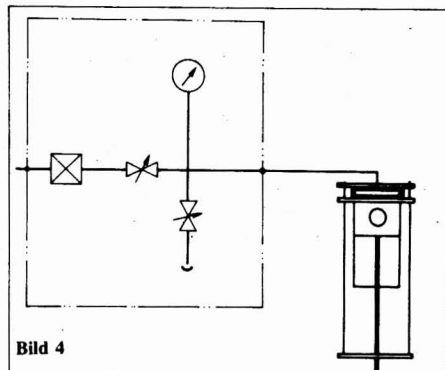


Bild 4

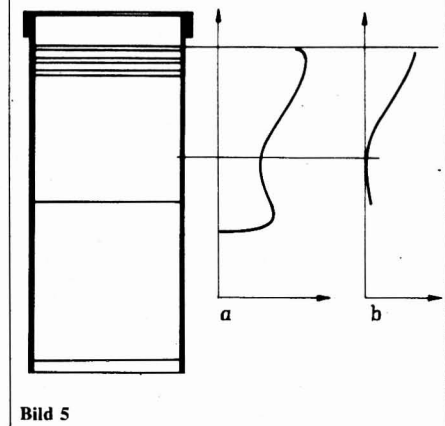


Bild 5

Ölgroßprüfung bei Motoren — ja oder nein?

Dr.-Ing. H. Wohllebe, KDT, Ing.-Büro für vorbeugende Instandhaltung beim Kombinat für Landtechnische Instandhaltung Dresden

In verschiedenen Fachzeitschriften wurden die Vor- und Nachteile einer Ölgroßprüfung bei Dieselmotoren von Fahrzeugen und Arbeitsmaschinen bereits ausführlich diskutiert [1] [2] [3] [4] [5]. Der Ausgangspunkt dafür war jeweils in dem Bestreben zu sehen, die Gebrauchsfähigkeit der Motorenöle voll auszunutzen und im Rahmen der Volkswirtschaft eine Öleinsparung zu erzielen.

Der vorliegende Beitrag stellt eine zusammenfassende Wertung zur Problematik der Ölgroßprüfung dar.

1. Festliegende Ölwechselintervalle

Die Hersteller von Verbrennungsmotoren schreiben den Nutzern bestimmte, für jeden Motortyp einheitlich festgelegte Ölwechselintervalle vor. Während diese Intervalle früher nach Erfahrungen festgelegt wurden, gibt man sie seit mehreren Jahren auf der Grundlage von Versuchen als technisch-begründete Normative an.

Trotzdem muß festgestellt werden, daß die vorgegebenen Ölwechselintervalle in der Vergangenheit noch erhebliche Reserven enthielten. So war bei genauer Analyse häufig zu bemerken, daß das Öl in bezug auf seine charakteristischen Kennwerte zum Zeitpunkt des vom Hersteller vorgegebenen Wechseltermins die zulässigen Grenzen noch nicht erreicht hatte.

Eine weitere Verlängerung der Ölwechselintervalle war vor allem durch eine Verbesserung der Ölqualität und durch wirksamere Filteranlagen an den Motoren möglich.

Inzwischen ist überall bekannt, daß die Ölwechselintervalle bei Motoren in den vergangenen Jahren aus den vorgenannten Gründen mehrfach erhöht worden sind.

2. Ölgroßprüfung

Mit einer Vergrößerung der Ölwechselintervalle ist jedoch das Problem der unterschiedlichen Ölausnutzung bei Motoren eines Typs noch nicht beseitigt.

Die Beanspruchung des Öls wird je nach Motorzustand und Betriebsbedingungen unterschiedlich sein, so daß in günstigen Fällen die

Gebrauchseigenschaften des Öls zum Zeitpunkt des vorgegebenen Ölwechseltermins noch nicht völlig erschöpft sind. Aus diesem Grunde werden seit Jahren Versuche mit dem Ziel unternommen, zum Zeitpunkt des vorgeschriebenen Ölwechsels mit Hilfe von Ölgroßprüfverfahren den Zustand des Öls zu überprüfen und individuell für jeden Motor einzuschätzen, ob man das Öl wechseln muß oder ob es noch für eine bestimmte Zeit im Motor verbleiben kann.

Die Methode der Ölgroßprüfung mit dem individuellen Ölwechsel wurde zuerst bei Lokomotiv- und Schiffsdieselmotoren angewendet. Bei den Großdieselmotoren bietet sich diese Methode an, da diese Motoren Ölfüllungen von mehreren Hundert Litern enthalten.

Bei den in Straßenfahrzeugen, Bau- und Landmaschinen eingebauten Kleindieselmotoren wurde diese Methode aufgrund der geringen Ölmengen in den Motoren (vielfach unter 20 l) zunächst nicht angewendet.

Durch das erhebliche Ansteigen der Ölpreise auf dem Weltmarkt und die daraus resultierende Notwendigkeit der Öleinsparung sind jedoch vielerorts Bestrebungen entstanden, diese Methode auch bei Kleindieselmotoren anzuwenden.

2.1. Verfahren der Ölgroßprüfung

Während im Rahmen des Herstellungsprozesses zur Qualitätsüberwachung alle wichtigen chemisch-physikalischen Kennwerte des Öls geprüft werden, wird die Gebrauchsfähigkeit des Öls in der Praxis meist nur anhand einzelner Kennwerte beurteilt. Die labormäßige Überprüfung aller wichtigen Kennwerte wäre für diesen Zweck zu zeit- und kostenaufwendig. Deshalb werden Prüfverfahren angewendet, die mit Hilfe einfacher Meßmittel und ohne größeren Zeitaufwand eine Prüfung des Öls ermöglichen.

Die bekanntesten Ölgroßprüfverfahren sind:

- Tüpfeltest
- Schwärzungstest
- Viskositätstest
- Säuretest.

Alle diese Prüfverfahren stützen sich auf eine Ölprobe, die der Ölfüllung des Motors entnommen wird.

Bereits bei der Probenentnahme sind eine Reihe von Bedingungen zu beachten, die zu einer starken Verfälschung der Aussage führen können (Entnahmestelle in der Ölwanne und Zeitpunkt der Entnahme in bezug auf den Motorstillstand).

An dieser Stelle soll lediglich auf die praktische Anwendung des Schwärzungstests näher eingegangen werden, da dieses Verfahren in letzter Zeit verschiedentlich zur Anwendung empfohlen wird [1] [3].

2.2. Schwärzungstest mit dem Ölgroßprüfgerät OGP

Beim Schwärzungstest wird eine mit einem farblosen Lösungsmittel verdünnte Ölprobe in einem speziellen Gerät durchleuchtet.

Dabei wird die aufgrund der Schwärzung des Öls hervorgerufene Lichtabsorption mit Hilfe

eines Fotoelements gemessen. Aus der Lichtabsorption ergibt sich mit Hilfe einer Kalibrierkurve die Verschmutzung in Masse-%.

In der DDR wird zur Durchführung dieses Verfahrens das Ölgroßprüfgerät OGP des VEB Mechanik Karl-Marx-Stadt verwendet (Bild 1).

Mit dem Schwärzungstest werden nur die im Motorenöl enthaltenen Verbrennungsrückstände und Alterungsprodukte ermittelt. Die nicht dispergierten groben Verunreinigungen im Öl, wie Metallabrieb und Staub, können nicht ermittelt werden.

Bei der Anwendung des Schwärzungstests wird davon ausgegangen, daß sich mit der Verschmutzung des Öls auch alle anderen chemisch-physikalischen Kennwerte analog verändern und daß die Grenze der zulässigen Verschmutzung früher als die anderen Grenzwerte des Öls erreicht wird.

2.3. Einschätzung der Ölgroßprüfung mit dem Ölgroßprüfgerät OGP

Die Vorteile, die die Ölgroßprüfung und der individuelle Ölwechsel in bezug auf die Einsparung von Motorenöl mit sich bringen, scheinen zunächst auf der Hand zu liegen.

Bei genauer Untersuchung des Verfahrens der Ölgroßprüfung und seiner Eingliederung in die Organisation der Pflege und Wartung der Maschinen und Fahrzeuge muß man jedoch zu der Feststellung kommen, daß es nicht vertretbar ist, auf dieser Grundlage generell den Motorenölwechsel festzulegen, was durch folgende abnehmende Argumente belegt wird:

— Die Beurteilung der Gebrauchsfähigkeit eines Motorenöls lediglich anhand der Verschmutzung ist nicht ausreichend. Dazu müssen zumindest noch die Kennwerte Viskosität und Flammpunkt mit herangezogen werden. In einzelnen Fällen kann die Verschmutzung des Öls noch im Bereich zulässiger Grenzen liegen, obwohl die Viskosität den zulässigen Wert bereits überschritten hat, wie in [5] aufgrund von Ölanalysen zum Ausdruck gebracht wurde. Ebenso bleibt bei der Ölgroßprüfung mit dem Ölgroßprüfgerät OGP ein möglicher

Kolben-Gruppe für Fahrzeug-Viertakt-Dieselmotoren. VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, Abschlußbericht 1973 (unveröffentlicht).

[2] Wohllebe, H.: Beitrag zur demontageösen Überprüfung der Betriebstauglichkeit der Zylinder-Kolben-Gruppe von Fahrzeug-Viertakt-Dieselmotoren. Technische Universität Dresden, Institut für Kraftfahrzeugtechnik, Dissertation 1968.

[3] Šablík: Metoda bezdemontážního zjišťování stavu pístové skupiny (Eine Methode der demontageösen Feststellung des Zustands der Zylinder-Kolben-Gruppe). Tagung Demontagefreie Diagnostik Prag 1975.

[4] Reparaturhandbuch für den Dieselmotor 4 VD 14,5/12-1 SRW. VEB IFA-Motorenwerk Nordhausen 1974/1975. A 1732

Bild 1. Ölgroßprüfgerät OGP des VEB Mechanik Karl-Marx-Stadt

