

#### 4. Auswertung der Diagnose

Die Meßergebnisse (Ist-Zustand) werden gewissenhaft im Pflege- und Diagnoseprotokoll festgehalten. Sie bilden die Grundlage der Auswertung und der einzuleitenden Instandsetzungsmaßnahmen.

Der Leiter der planmäßig vorbeugenden Instandhaltung nimmt diese Auswertung gemeinsam mit den Diagnostikern vor. Wichtig ist, daß die Diagnoseparameter nicht als Einzelaussage, sondern in ihrem Zusammenwirken bewertet werden [4]. Gleichzeitig ist die Veränderung der Meßergebnisse seit den vorangegangenen Diagnosen mit einzubeziehen. Auf der Grundlage der planmäßig durchgeführten Diagnosen wird sich die Restnutzungsdauerprognose aufbauen.

#### 5. Hinweise zum Anlauf der Diagnose

Für den Anlauf der technischen Diagnose haben sich folgende Maßnahmen bewährt:

- Unmittelbar vor Beginn der Diagnostikarbeiten arbeiten die Diagnostiker für 2 bis 3 Tage in einer bereits bestehenden Diagnosestation, um ihre Ausbildungserkenntnisse zu reaktivieren.
- Um schnell Sicherheit im Umgang mit der Meßtechnik und bei der Einhaltung der Technologie zu erreichen, wird erst mit den Traktoren eines Typs begonnen. Gleichzeitig erhält man dabei für jede Maschine Basiswerte.

Bei der Erstdiagnose kann aufgrund des größeren Aussageumfangs eine Vielzahl von Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich werden, die sich aber nicht negativ auf die Entwicklung der Instandhaltungskosten auswirken werden.

#### 6. Zusammenfassung

Den Anwendern des Diagnosegerätesystems DS 1000 werden Grundsätze zur Vorbereitung und technologischen Einordnung der

technischen Diagnose in das Instandhaltungssystem der landwirtschaftlichen Betriebe dargelegt, um eine kurzfristige und effektive Nutzung des Gerätesatzes zu ermöglichen.

#### Literatur

- [1] Eichler, C.; Grieb, H.-G.: Einordnung der technischen Diagnostik in das landtechnische Instandhaltungswesen der DDR. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 9, S. 388-391.
- [2] Eichler, C.; Grieb, H.-G.: Vortrag zur Beratung der Arbeitsgruppe des MLFN „Einführung der technischen Diagnostik“ am 22. Juni 1983 in Leipzig.
- [3] Wüstefeld, M.; Zimmer, E.: Prüfräume für die Landtechnik. Spezialschule für Landtechnik Großhain, Broschüre 1976.
- [4] Wosniak, R.: Verfahrensbezogene Diagnostiktechnologie für Traktoren. Markkleeberg: agrarbuch 1982, S. 8-12. A 3844

## Durchblasestrom – ein Parameter zur Diagnose der Kolben-Gleitbuchsen-Paarung von Dieselmotoren

Dr.-Ing. H.-H. Maack, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

K. Riedner, KDT, Ingenieurbüro für Landtechnik beim VEB Kombinat für Landtechnische Instandhaltung Rostock

#### Verwendete Abkürzungen

$L_s$	m	Länge des Anschlußschlauches
$n$	$\text{min}^{-1}$	Motordrehzahl
$P_{\text{eff}}$	kW	effektive Motorleistung
$\Delta p$	Pa	Druckdifferenz am Geber
$p_{1U}$	Pa	statischer Druck an der Stelle 1, bezogen auf den Luftdruck
$p_{2U}$	Pa	statischer Druck an der Stelle 2, bezogen auf den Luftdruck
$p_U$	mm Hg	Luftdruck
$R_K$		Vorschaltwiderstand
$t_M$	s	Meßzeit
$t_w$	s	Warmlaufzeit
$U_{sV}$	V	Speisespannung
$U$	V	Spannung
$V_D$	$\text{dm}^3/\text{min}$	Durchblasestrom
$x_D$		Diagnoseparameter
$x_S$		Strukturparameter
$\vartheta$	K	Temperatur, allgemein
$\vartheta_{O1}$	$^{\circ}\text{C}$	Motoröltemperatur
$\vartheta_U$	$^{\circ}\text{C}$	Umgebungstemperatur
$\vartheta_{V1}$	K	Temperatur des Durchblasestroms an der Stelle 1
$\vartheta_{V2}$	K	Temperatur des Durchblasestroms an der Stelle 2

#### 1. Einleitung

Der Schädigungszustand der Kolben-Gleitbuchsen-Paarung von Verbrennungsmotoren bildet gegenwärtig unter Berücksichtigung des Zustands der Kurbelwellenlagergruppe das Hauptkriterium für den Instandsetzungsumfang (Grundinstandsetzung oder Kolben-Buchsen-Wechsel) von Dieselmotoren der Landtechnik.

Aussagekräftige Diagnoseverfahren zur Ermittlung des Verschleißzustands beider Baugruppen bilden deshalb die Grundvoraussetzung für die effektive Instandhaltung der Dieselmotoren. Gegenwärtig werden im Rahmen der Anwendung des Diagnosegerätesatzes DS 1000 verschiedene Verfahren zur Beurteilung des Zustands der Kolben-Gleitbuchsen-Paarung (relativer Ölverbrauch, Kompressionsdruck, Durchblasestrom) empfohlen [1], deren Aussagekraft bzw. Handhabung mit verschiedenen Prämissen verbun-

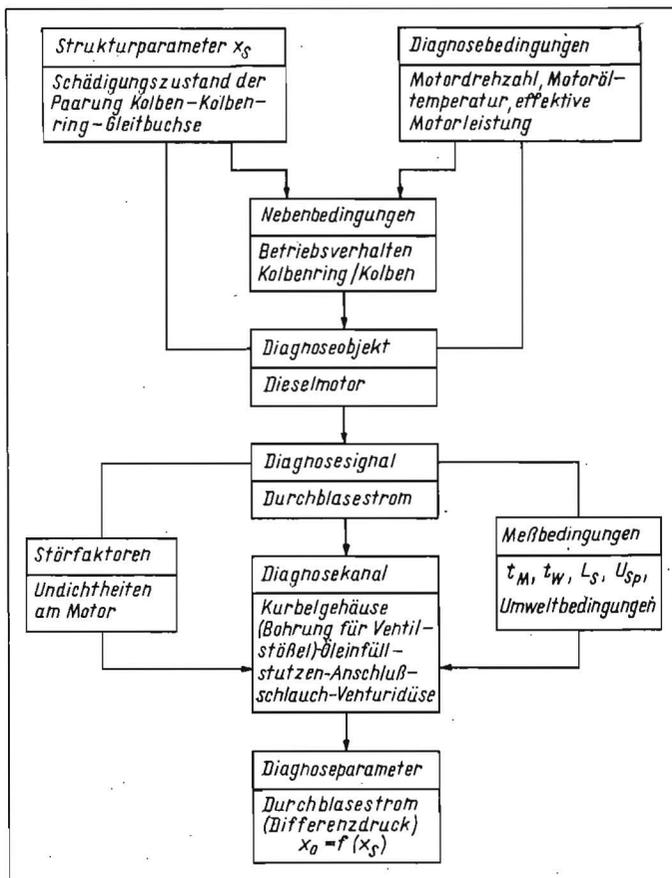
den ist. Im folgenden sollen einige Untersuchungsergebnisse im Hinblick auf die Aussagefähigkeit des Durchblasestroms als Diagnoseparameter mitgeteilt werden.

#### 2. Durchblasestrom als Diagnoseparameter

Als Durchblasestrom wird der während des Verdichtungs- und Arbeitstaktes vom Zylinder-

derraum in das Kurbelgehäuse des Motors durchblasende Gasstrom bezeichnet. Im Motorbetrieb entweichen diese Gase durch die konstruktiv vorgesehenen Entlüftungsstellen (Entlüftungsstutzen) des Kurbelgehäuses. Die Messung des austretenden Gasstroms ermöglicht somit Rückschlüsse auf die Qualität der Abdichtung des Verbrennungsraums al-

Bild 1  
Wirkungsmechanismus der Durchblasestrommessung



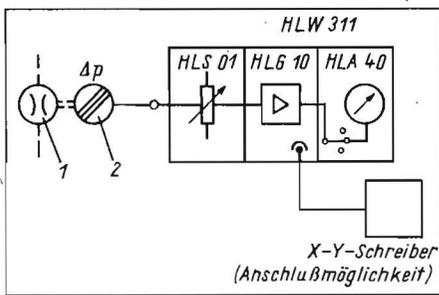


Bild 2. Baugliedplan für die Durchblasstrommeßkette

ler Zylinder des Motors gegenüber dem Kurbelgehäuse zu ziehen.

Die eindeutige Zuordnung eines bestimmten Durchblasstroms zum Schädigungszustand (Verschleiß) der Kolben-Kolbenring-Gleitbuchsen-Paarung ist jedoch entsprechend früheren Untersuchungsergebnissen nicht immer gegeben. Das ist auf die Wirkung sowohl motorseitiger wie auch z. T. auf meßtechnische Einflußfaktoren zurückzuführen, deren gegenseitige Abhängigkeit entsprechend [2] systematisiert und auf Bild 1 dargestellt ist. Daraus ist ersichtlich, daß die eindeutige Ermittlung des funktionellen Zusammenhangs  $x_D = f(x_S)$  (Diagnosekennlinie) für den Durchblasstrom erschwert ist, da infolge des Wirkens der Nebenbedingungen und Störfaktoren erhebliche Schwankungen im Zeitverlauf durch das Betriebsverhalten der Kolbenringe sowie der thermodynamischen Parameter im Diagnosekanal (Kurbelgehäuse/Geberkombination) zu erwarten sind.

Aus einer sowjetischen Quelle [3] geht hervor, daß sich der Durchblasstrom bei zunehmendem Verschleiß sowohl betragsmäßig als auch in seiner zeitlichen Schwankungsbreite vergrößert. Es wird vorgeschlagen, die Veränderungen im zeitlichen Verlauf des Durchblasstroms während der Überprüfung zur Beurteilung des Schädigungs Zustands der Kolben-Gleitbuchsen-Paarung mit heranzuziehen. Diese Veränderungen werden in erster Linie auf die Kolbenring- und Kolbenbewegung zurückgeführt, die vom Verschleißzustand, von der Motordrehzahl und -belastung sowie vom vorhandenen Ölfilm abhängen. Demzufolge sind Angaben über schwankende Durchblase-

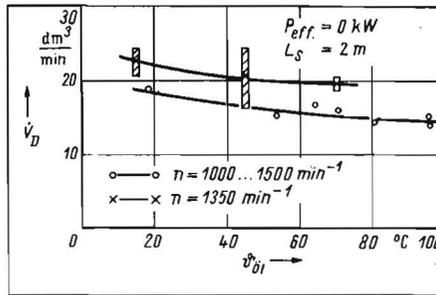


Bild 4. Durchblasstrom in Abhängigkeit von der Motoröltemperatur (Motor 4 VD 14,5/12-1 SRW)

strommeßwerte bei gleichen Ausgangsbedingungen kritisch zu betrachten, da diese als Mittelwerte über einen relativ kurzen Zeitraum gebildet wurden [4] und somit für eine Bewertung des Schädigungs Zustands als ungeeignet einzuschätzen sind. Einen wesentlichen Störfaktor auf den Durchblasstrom bilden die während der Betriebsdauer von Motoren entstehenden Undichtheiten im Diagnosekanal (Motorgehäuse), da es zu nicht von der Meßeinrichtung erfassbaren Leckagen kommt, die mit steigender Laufleistung der Motoren zunehmen und somit zur Verunsicherung des Diagnoseverfahrens führen [5]. Demzufolge wird dieses Verfahren nach Angaben von [6] bevorzugt für die Endkontrolle von Serienmotoren angewendet, um Bearbeitungs- bzw. Montagefehler nachzuweisen.

Neben diesen motorseitig wirkenden Einflußfaktoren muß entsprechend Bild 1 der Einfluß der Meßbedingungen auf das Verfahren beachtet werden.

### 3. Vorstellung des derzeit angewendeten Verfahrens und der Gerätetechnik

Im Gerätesystem für die technische Diagnostik an Traktoren und selbstfahrenden Landmaschinen DS 1000 wird der Diagnoseparameter Durchblasstrom mit einer von der Wilhelm-Piëck-Universität Rostock entwickelten Geberkombination auf Dehnungsmeßstreifenbasis in Verbindung mit einem als Speise-, Verstärker- und Anzeigerät dienenden HLW 311 erfaßt und als Mittelwert angezeigt. Im Bild 2 ist der Baugliedplan für die entsprechende Meßkette dargestellt. Die Geberkombination wurde vom Hersteller des DS 1000 prinzipiell übernommen und

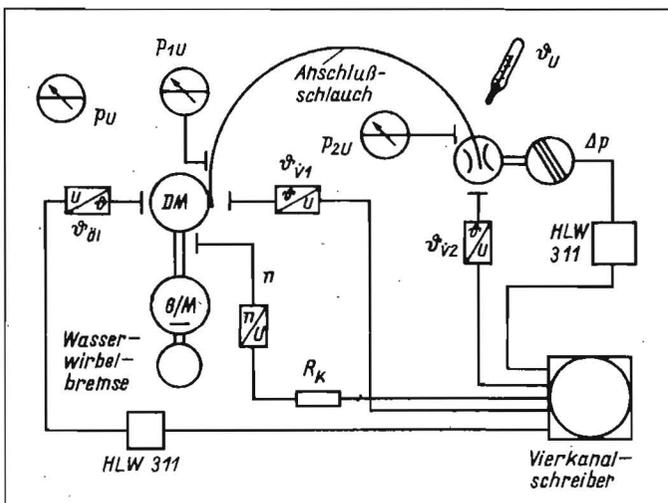


Bild 3. Blockschaltbild des Versuchstands zur Durchblasstrommessung am Dieselmotor; DM Dieselmotor, G/M Pendelmaschine, HLW 311 Halbleiter-Wandler-Gerät Typ 311

konstruktiv so überarbeitet, daß im wesentlichen standardgerechte Einzelteile und Materialien verwendet werden können. Die meßtechnische Erfassung des Diagnoseparameters Durchblasstrom beruht auf folgendem Prinzip:

Aus zwei an Stellen mit verschiedenem Strömungsquerschnitt der Venturidüse (Teil 1) gemessenen statischen Drücken des Durchblasstroms wird mit Hilfe von zwei Membranen ein Differenzdruck gebildet, der einen mit aufgeklebten Dehnungsmeßstreifen versehenen Biegeträger, der mit den Membranen mechanisch verbunden ist, verformt (Teil 2). Als Meßsignal dient das infolge der Widerstandsänderung in der Brückenschaltung entstehende Spannungsgefälle, das über eine Verstärkerstufe zur Anzeige gelangt.

Die Messung des Durchblasstroms erfolgt nach [1] bei unterer und oberer Leerlaufdrehzahl im Anschluß an die Motorölstrommessung, so daß eine Motoröltemperatur von 60 °C gewährleistet ist, durch Ablesen des Zeigerinstruments des Anzeigeteils HLA 40. Der dem Kurbelgehäuse entweichende Gasvolumenstrom wird vom Entlüftungsstutzen des Motors über einen Anschlußschlauch definierter Länge der Venturidüse zugeführt. Die Bewertung der gemessenen Durchblasstromwerte erfolgt durch Vergleich mit motortypspezifischen Grenzwerten, die für die häufigsten in der Landtechnik verwendeten Motoren aus [1] zu entnehmen sind.

### 4. Untersuchungsziel

Aus dem dargelegten Sachverhalt resultieren zwei zentrale Aufgabenstellungen:

- Bestimmen des Einflusses der Diagnose- und Meßbedingungen auf die Erfassung des Durchblasstroms
- Zuordnung des Diagnoseparameters Durchblasstrom zum Verschleißzustand der Kolben-Gleitbuchsen-Paarung.

Die erste Aufgabe beinhaltet Untersuchungen zu auftretenden Meßfehlern bei der Handhabung des Verfahrens und schafft die Voraussetzung für die Bearbeitung der zweiten Aufgabe.

Im einzelnen ergaben sich für die Abarbeitung der ersten Aufgabe folgende konkrete Untersuchungsschritte, die aus der vorliegenden Meßtechnik und der bisherigen Überprüfungstechnologie resultieren:

#### Meßbedingungen

- Verwendung verschiedener Anschlußschlauchlängen
- Festlegung der erforderlichen Warmlaufzeit der Meßkette
- Ermittlung eines optimalen Meßzeitintervalls
- Meßwertausgabe (Registrierung)

#### Diagnosebedingungen

- Motoröltemperatur
- Motordrehzahl
- Motorbelastung.

Probleme der Kennlinienermittlung bzw. der Grenzwertfestlegung müssen aufgrund der Komplexität der Problematik späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

### 5. Durchführung der Untersuchungen und Versuchsergebnisse

Aus der speziellen Aufgabenstellung ergab sich die Notwendigkeit von Prüfstands- und Laboruntersuchungen.

Der Hauptteil der experimentellen Untersuchungen wurde auf dem Motorenprüfstand

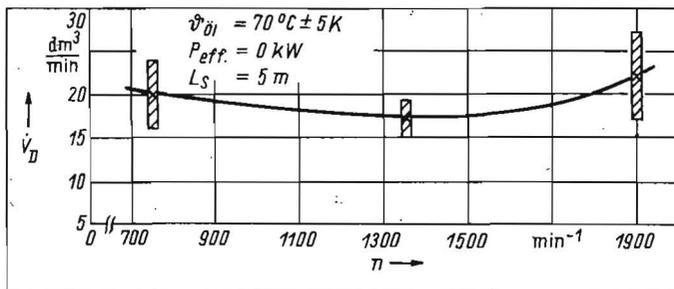


Bild 5  
Durchblasestrom in Abhängigkeit von der Motordrehzahl (Motor 4 VD 14,5/12-1 SRW)

der Sektion Landtechnik der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock durchgeführt. Der schematische Aufbau und die verwendete Meßtechnik des Versuchsstands gehen aus dem Blockschaltbild (Bild 3) hervor.

Die Untersuchungen waren Gegenstand einer Diplomarbeit [7], deren Ergebnisse hier auszugsweise wiedergegeben werden.

Um Veränderungen der Länge des Anschlußschlauchs vom Motor zur Venturidüse abschätzen zu können, waren Versuche zur Ermittlung der Druck- und Temperaturverluste im Schlauch notwendig, um die Auswirkungen auf den Durchblasestrom anhand der Zustandsgleichung für das ideale Gas unter Berücksichtigung des Kontinuitätsgesetzes ermitteln zu können.

Aus den Berechnungen geht hervor, daß bei Verwendung von Anschlußschläuchen mit einer Länge von 5 m (z. B. erforderlich für Mähdrescher) die gemessenen Durchblaseströme rd. 2 % geringer ausfallen als bei 2 m langen Anschlußschläuchen, wie sie für Traktoren benutzt werden. Um stabile und reproduzierbare Meßergebnisse zu erreichen, muß eine elektrische Warmlaufzeit der Meßkette, bestehend aus Geberkombination und HLW-Meßgerät, von mindestens 15 min gewährleistet sein.

Die Einschaltdauer des HLW 311 zum Zeitpunkt der Durchblasestrommessung erfüllt laut Diagnosetechnologie [1] diese Forderung, jedoch wird der Differenzdruckgeber der Geberkombination erst unmittelbar vor der Messung auf das HLW-Gerät umgeschaltet. Durch Änderung der Diagnosetechnologie (Vorziehen der Rauchdichtmessung) kann eine elektrische Warmlaufzeit der gesamten Meßkette gesichert werden. In jedem Fall sollte durch eine Kontrolle der Nullpunkt drift bei nicht an den Motor angeschlossenen Geber das Ende der Warmlaufzeit überprüft werden.

Da sich nach Anschluß der Geberkombination an den Motor temperaturstabile Verhältnisse im Anschlußschlauch und in der Venturidüse erst nach einer Zeit von rd. 60 s einstellen, sollte erst danach mit der Erfassung (Ablesen, Registrieren) der Werte begonnen werden.

Aufgrund der zeitlichen Veränderung des Durchblasestroms (s. Abschn. 2) sollte sein Verlauf aufgezeichnet werden. In diesem Zusammenhang war die optimale Zeitdauer der Messung zu ermitteln, die einen Kompromiß aus der Gewährleistung der Nullpunktstabilität der Meßkette und der Erfassung der motorseitigen bedingten Schwankungen des Durchblasestroms während der Messung darstellt. Die dazu durchgeführten Versuche ergaben, daß bei relativ geringen Anzeigewerten (<10 Skalenteile am HLW 311) eine Meßzeit von 120 s eingehalten werden sollte; bei höheren Anzeigewerten kann die Meßzeit auf 200 s ausgedehnt werden.

Die Aufzeichnung des Durchblasestroms mit

dem im DS 1000 vorhandenen X-Y-Schreiber endim 620.02 ist für die Erfassung der Zeitabhängigkeit und somit im Interesse der Erhöhung der Aussagefähigkeit des Verfahrens zu empfehlen.

Zur Untersuchung der einzuhaltenden Diagnosebedingungen wurde die Abhängigkeit der statistisch errechneten Mittelwerte des Durchblasestroms für verschiedene Motoröletemperaturen und Motordrehzahlen bei jeweils konstanten Meß- und Betriebsbedingungen ermittelt. Die Mittelwerte wurden aus einer größeren Stichprobe (Meßschieb) in Abhängigkeit von der Zeitdauer ihres Auftretens mit einer statistischen Sicherheit von 95 % gebildet.

Aus Bild 4 ist ersichtlich, daß diese Mittelwerte im Bereich der Motoröletemperatur von 60 °C bis 70 °C relativ konstant sind und dieser Temperaturbereich somit für die Reproduzierbarkeit der Meßwerte günstig ist.

Die Mittelwerte der Durchblaseströme in Abhängigkeit von der Motordrehzahl sind im Bild 5 dargestellt, wobei der Streubereich für ausgewählte Drehzahlen eingetragen wurde.

Die Versuche bestätigten das Auftreten eines sog. kritischen Drehzahlbereichs, in dem der Durchblasestrom seine geringsten Werte erreicht, für den Motor 4 VD 14,5/12-SRW.

Versuche mit unterschiedlicher Belastung des Motors ergaben, daß ab rd. 20 kW effektiver Motorleistung die Durchblaseströme degressiv ansteigen. Bis zu einer Leistung von 20 kW wurde ein kurzzeitiges Absinken des Durchblasestroms verzeichnet. Dieser Sachverhalt ist insofern von Bedeutung, daß bei der Messung dieses Diagnoseparameters die Motorbelastung auch im Leerlauf durch das Zu- und Abschalten von Hilfsaggregaten (Kompressor, Lüfter, Hydraulikpumpe) nicht vernachlässigt werden darf.

Drehzahleinfluß und Belastungsänderung können bei der Diagnose durch den Beschleunigungsvorgang aus dem Leerlauf des Motors einfach variiert werden. Die Meßtechnik des DS 1000 gestattet die drehzahlabhängige Aufzeichnung des Durchblasestroms während der Beschleunigungsphase und bietet damit weitere Möglichkeiten für die Zustandsbewertung der Kolben-Gleitbuchsen-Paarung. Leider können dazu gegenwärtig noch keine endgültigen Aussagen getroffen werden. Inwieweit außerdem die zeitabhängigen Schwankungen gewisse Anhaltspunkte für Zustandsänderungen des Motors liefern können [5], läßt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt ebenfalls nicht eindeutig beantworten.

Gegenwärtig werden Grenzwerte für den Durchblasestrom angegeben [1], die bereits vor Jahren mit anderen Meßverfahren und z. T. im Ausland ermittelt worden sind. Aufgrund der dargelegten Sachverhalte können diese nur als Richtwerte dienen, zumal der Durchblasestrom als alleiniger Diagnosepa-

rameter für die Bewertung des Zustands der Kolben-Gleitbuchsen-Paarung als problematisch anzusehen ist. Die praktischen Erfahrungen in den Diagnosestationen des Bezirks Rostock verdeutlichen aber, daß der Durchblasestrom in Verbindung mit relativem Ölverbrauch, Rauchdichte und Kompressionsdruck in erster Linie zur Fehlersuche (Schadenserkennung) herangezogen werden kann.

## 6. Schlußbetrachtungen

In Auswertung der vorgelegten Ergebnisse können folgende Hinweise zur Erhöhung der Aussagekraft des Verfahrens der Durchblasestrommessung bei Anwendung des Diagnosegerätesystems DS 1000 gegeben werden:

- Zusätzlich zum bisherigen Ablesen der Meßwerte für den Durchblasestrom sollte eine zeitabhängige Registrierung des Verlaufs mit Hilfe eines X-Y-Schreibers erfolgen (Meßdauer 120 bis 200 s, Zeitbasis 5 s/cm).
- Zur Gewährleistung temperaturstabiler Verhältnisse sollte erst 60 s nach Anschluß der Geberkombination mit der Messung begonnen werden.
- Die Warmlaufzeit des elektrischen Gebers von rd. 15 min erfordert eine andere Einordnung des Verfahrens in die Diagnosetechnologie des DS 1000.
- Bei der Aufstellung der Geberkombination sind Körper- und Luftschallbeanspruchungen gering zu halten.
- Der Übergang zu größeren Schlauchlängen (bis 5 m) ist ohne Meßwertkorrektur vertretbar.
- Die in der Diagnosetechnologie angegebenen Grenzwerte für den Durchblasestrom sind vorerst als Richtwerte zu betrachten und dienen im Zusammenhang mit anderen Verfahren vordergründig zur Schadenserkennung der Kolben-Gleitbuchsen-Paarung.

Weitere Kriterien für die Zustandsbeurteilung können in Zukunft die zeitliche Änderung sowie die Drehzahlabhängigkeit des Durchblasestroms beim Beschleunigungsvorgang sein. Das setzt jedoch weiterführende Untersuchungen sowie die Aktualisierung der bisher vorliegenden Grenzwerte voraus.

## Literatur

- [1] Wosniak, R., u. a.: Verfahrensbezogene Diagnosetechnologie für Traktoren. Markkleeberg: agrabuch 1983.
- [2] Ihle, G.: Die Stellung der technischen Diagnostik im Gesamtsystem der landtechnischen Instandhaltung. agrartechnik, Berlin 31 (1981) 12, S. 527-529.
- [3] Racbaum, K. G.; Čečurov, E. F.: Methodische Fehler bei der Messung des Durchblasestromes der Verbrennungsgase. Mech. i elektr. soc. sel'sk. choz., Moskva 50 (1980) 7, S. 60-61.
- [4] Wohlbe, H.: Beitrag zur demontagelosen Überprüfung der Betriebstauglichkeit der Zylinder-Kolbengruppe von Fahrzeug-Viertakt-Dieselmotoren. TU Dresden, Dissertation 1967 (unveröffentlicht).
- [5] Engelmann, D.: Durchblasemengenmessung bei absoluter Messung und zeitabhängiger Messung. WPU Rostock, Abschlußarbeit im Postgradualstudium Instandhaltung 1983 (unveröffentlicht).
- [6] Motorwächter 810 B Leckgas (blow-by) Propekt, Prof. List GmbH, Graz.
- [7] Kruse, K.: Kennlinienermittlung Durchblasestrom. WPU Rostock, Sektion Landtechnik, eingereicht. Diplomarbeit-1983 (unveröffentlicht).