

Technische Diagnostik — Möglichkeit zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und zur Verbesserung der Materialökonomie

Die Erhöhung der Zuverlässigkeit der Maschinen und Anlagen sowie die Verbesserung der Materialökonomie bei deren Nutzung und Instandhaltung sind auch in der Periode nach dem IX. Parteitag der SED Schwerpunktaufgaben, die in allen Zweigen der Volkswirtschaft zu lösen sind. Dabei kommt der Technischen Diagnostik unumstritten eine große Bedeutung zu.

Um den Erfahrungsaustausch auf diesem Gebiet zwischen den verschiedenen Wirtschaftszweigen zu fördern, veranstaltete der Fachausschuß Technische Diagnostik der Wissenschaftlichen Sektion Erhaltung landtechnischer Arbeitsmittel im Fachverband Land-, Forst- und Nahrungsgütertechnik der KDT am 4. November 1976 in Gera die 2. Fachtagung „Technische Diagnostik“.

Das Ziel dieser Fachtagung bestand im Erfahrungsaustausch über den praktischen Einsatz von Diagnosegeräten und über durchgeführte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den verschiedenen Wirtschaftszweigen. Damit sollte erreicht werden, daß positive Erfahrungen und Ergebnisse, die in einzelnen Betrieben oder Einrichtungen vorliegen, in möglichst vielen Bereichen Anwendung finden können und daß Doppelarbeiten bei der Entwicklung von Diagnoseverfahren und -geräten vermieden werden.

Die große Beteiligung von Vertretern aus den verschiedenen Zweigen der Volkswirtschaft zeigte die Aktualität der Technischen Diagnostik. An der Tagung nahmen insgesamt 170 Fachkollegen aus den Bereichen Seeschifffahrt, Luftfahrt, Deutsche Reichsbahn, Kraftverkehr, Volksarmee, Bauwesen, Landwirtschaft, chemische Industrie, Energiewirtschaft, Bergbau, Deutsche Post, Maschinenbau, Metallurgie sowie Hoch- und Fachschulwesen teil.

Da in das Tagungsprogramm nur Kurzreferate aufgenommen wurden, konnten sehr viele Probleme der Maschinendiagnose behandelt werden, u. a. Ergebnisse der Anwendung vibroakustischer und spektrometrischer Verfahren zur Diagnose von Fahrzeug- und Schiffsdieselmotoren. In anderen Kurzvorträgen berichteten die Referenten über Verfahren und Geräte zur Diagnose von Kraftstoffeinspritzanlagen, Wälzlager und Hydraulikanlagen. Umfangreiche praktische Erfahrungen wurden vom VEB Gaskombinat Schwarze Pumpe zur Ultraschallprüfung, zur Techno-Endoskopie und zu anderen einfachen Diagnoseverfahren dargelegt. Ausführungen zur Diagnose an Kernkraftwerksanlagen, zur Diagnose von Rissen durch akustische Emission sowie über Holographie und Thermographie ergänzten das Programm.

Aufgrund der Vielfalt der dargelegten Arbeitsergebnisse und praktischen Erkenntnisse beim Einsatz von Diagnosegeräten kann eingeschätzt werden, daß das Ziel der Tagung erreicht wurde. Die auf der Tagung vermittelten Erfahrungen und die angeknüpften zahlreichen Verbindungen zwischen den Fachkollegen werden gewiß zur Verbesserung der interdisziplinären Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Technischen Diagnostik beitragen.

Geplant ist die Herausgabe einer Broschüre, die alle Referate der 2. Fachtagung enthalten wird. In diesem Heft der „agrartechnik“ werden bereits drei überarbeitete bzw. erweiterte Referate veröffentlicht, die für die landtechnische Instandhaltung von Bedeutung sind. Ergänzt werden sie von einem Informationsbeitrag, der mit Thermographie und Holographie zwei neuartige Diagnoseverfahren aus der Luftfahrt vorstellt, die vielleicht auch bei der künftigen Diagnose landtechnischer Arbeitsmittel angewendet werden könnten.

AK 1511

Dr.-Ing. H. Wohlbe, KDT

Einige Ergebnisse vibroakustischer Untersuchungen zur Motordiagnose

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

1. Problemstellung

Unlängst sind einige Arbeiten bekannt geworden, die sich mit der Eignung vibroakustischer Verfahren — also mit der Messung von Körper- und Luftschall — für die demontagefreie Überprüfung von Maschinen und Anlagen befassen. Ursachen dafür sind die einfache Anbringungsmöglichkeit der Schwingungsaufnehmer am Diagnoseobjekt, das Vorhandensein von hochentwickelter Schwingungsmeßtechnik sowie der hohe Informationsgehalt der abgestrahlten Schwingungssignale. Die an der Sektion Landtechnik der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock durchgeführten Experimente hatten die Eignung vibroakustischer Verfahren zur Lagerspieldiagnose an den Kurbelwellenlagern von Fahrzeugdieselmotoren zum Inhalt.

Ausgangspunkt waren Arbeiten aus der Ungarischen Volksrepublik [1] und ein bereits als anwendungsbereit vorgestelltes Verfahren aus der UdSSR [2] einschließlich der dazu notwendigen Geräte. Die Diagnose wurde dabei

durch die Erfassung des Schwingungs- bzw. Schallpegels in bestimmten Frequenzbändern und den Vergleich mit entsprechenden Grenzwerten vorgenommen.

Aufgrund der vorliegenden positiven Ergebnisse sollte die Bestätigung für Dieselmotoren aus der DDR-Produktion unter Verwendung einfacher Schwingungsmeßtechnik erbracht werden. Das war notwendig, weil bei vibroakustischen Verfahren die Aussage mehr als üblich von der jeweiligen Motorkonstruktion sowie von den Betriebs- und Untersuchungsbedingungen abhängt [3].

2. Versuchsaufbau und Durchführung der Untersuchungen

Im Bild 1 ist der Aufbau der eingesetzten Meßeinrichtung als Blockschaltbild dargestellt. Als Untersuchungsobjekt diente der Dieselmotor 6 VD 14,5/12-1 SRW, der in größerer Stückzahl im Feldhäcksler E 280 eingesetzt wird. Von einem isoliert an verschiedenen Meßstellen in Höhe der Kurbelwellenachse

anschraubbaren Piezoaufnehmer wurde das Schwingungssignal dem Schwingungsmeßplatz SM 211 zugeführt, um danach von einem Terz-Oktav-Analysator TOA 111 in Verbindung mit dem Pegelschreiber PSG 101 einer automatischen Frequenzanalyse der Beschleunigungs- und Geschwindigkeitspegel unterzogen zu werden. Ein Elektronenstrahl-oszilloskop diente zur optischen Kontrolle des Meßvorgangs.

Die parallel zur Schwingungsmessung angeordneten Luftschallmessungen hatten den Charakter von Testuntersuchungen und sollen hier nicht behandelt werden.

Alle Versuche wurden an einem 6-Zylinder-Motor auf dem Prüfstand durchgeführt, um von vornherein eventuelle Störeinflüsse soweit wie möglich auszuschalten. Deshalb wurde auch der Verschleiß der Lager simuliert, indem die Haupt- und Hublagerzapfen der Kurbelwelle um jeweils einen konstanten Betrag abgeschliffen wurden. Die dadurch entstandenen mittleren Lagerspiele s_m bewegten sich in dem

Bereich vom Serieneinbauspil (rd. 0,10 mm) bis zum oberen Betriebsgrenzspiel (rd. 0,30 mm).

Zur sich später anschließenden Analyse des Einflusses von Störfaktoren wurden nacheinander Veränderungen an verschiedenen Bauteilen oder Einstelldaten vorgenommen, um die Auswirkungen auf das Meßergebnis zu registrieren.

3. Untersuchungsergebnisse

Die zunächst durchgeführten Voruntersuchungen sollten Auskunft über ein möglichst günstiges Meßregime für die Hauptuntersuchungen geben. Dazu wurde der Einfluß der Meßstellenanordnung, der Motordrehzahl, der Motorbelastung, der Schmieröltemperatur sowie der Betriebsart des Motors, d. h. Motorbetrieb oder Schleppbetrieb, ermittelt. Die Versuche wurden im oberen Drehzahlbereich, im nicht abgebremsten Zustand des Motors bei Einhaltung einer bestimmten Öltemperatur gefahren.

In den folgenden Hauptuntersuchungen bei Simulation des gleichzeitigen Haupt- und Pleuellagerverschleißes waren zahlreiche Versuchsreihen notwendig, um eine Abhängigkeit der einzelnen bewerteten Schwingungsgrößen zu den verschiedenen Zustandsparametern zu ermitteln. Bei der Auswertung erwiesen sich die Effektivwerte des Linearwerts der Beschleunigung \bar{a}_{LIN} , der terzbandbewerteten Beschleunigung \bar{a}_r bei 1600 Hz und der terzbandbewerteten Schwinggeschwindigkeit \bar{v}_r bei 250 Hz als aussagekräftig im Hinblick auf einen möglichst steilen Anstieg der Diagnosekennlinie. Grundsätzlich wurden die Verhältnisse für Motordrehzahlen $n \geq 1250$ U/min betrachtet, weil die Spielabhängigkeit hier am deutlichsten zum Ausdruck kommt. Zum anderen konnte festgestellt werden, daß der gewünschte Anstieg der einzelnen Schwingungsgrößen in Abhängigkeit vom Lagerspiel (Diagnosekennlinie) an den einzelnen Meßstellen unterschiedlich ausgeprägt ist.

Im Bild 2 ist der Linearwert der Beschleunigung in Abhängigkeit vom Lagerspiel für eine Drehzahl von 2000 U/min an der Meßstelle 3 aufgetragen. Hier ist der gewünschte progressive Anstieg vorhanden. Demgegenüber verdeutlicht Bild 2b die gleichen Verhältnisse an der Meßstelle 4, wo die Kennlinie für dieselben Parameter durch erhebliche Schwankungen der Meßwerte verunsichert wird.

Ähnliches läßt sich für die \bar{a}_r -Werte feststellen (Bild 3). Hier sind erhebliche Unterschiede im Anstieg der Kennlinien zwischen den Meßstellen 2 und 3 vorhanden. Geringfügig bessere Verhältnisse ergeben sich für die gefilterten Schwinggeschwindigkeitswerte bei einer Drehzahl von 1750 U/min (Bilder 4a und 4b).

Zur Abschätzung der Brauchbarkeit dieser Ergebnisse kann gesagt werden, daß der Anstieg in den günstigsten Fällen (Bilder 2a, 3a, 4a) gerade ausreicht, um ein mittleres Lagerspiel mit einer Genauigkeit von 20 bis 30 μm vorauszusagen, während die Kennlinien in den Bildern 2b, 3b und 4b als ungeeignet eingeschätzt werden müssen.

Zur grundsätzlichen Einschätzung des Verfahrens muß der Einfluß anderer über der Nutzungsdauer ebenfalls veränderlicher Parameter auf das Schwingungsniveau bekannt sein, wie

- vorzeitiger Verschleiß nur einer Lagerstelle
- Verschleiß der Kolben-Gleitbuchsen-Gruppe
- Einspritzanlage

Bild 1
Geräteanordnung zur Schwingungs- und Luftschallmessung; a Mikrophon MK 102, b Aufnehmer KD 35a, c Integrierverstärker, d Präzisionsschallpegelmesser, e Terz-Oktav-Analysator, f Oszilloskop, g Pegelschreiber

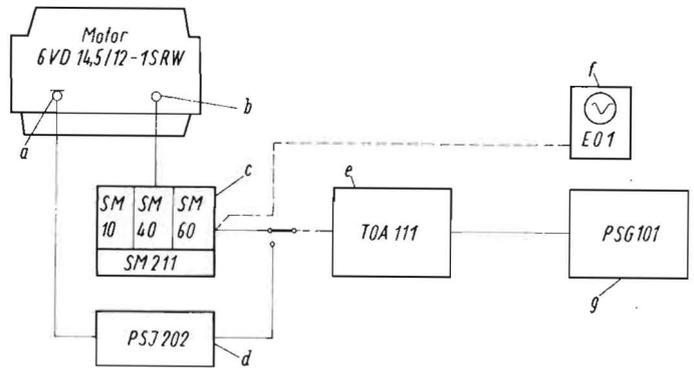


Bild 2
Schwingungsbeschleunigung bei gleichzeitiger Veränderung des Haupt- und Pleuellagerspiels; a) Meßstelle 3, b) Meßstelle 4

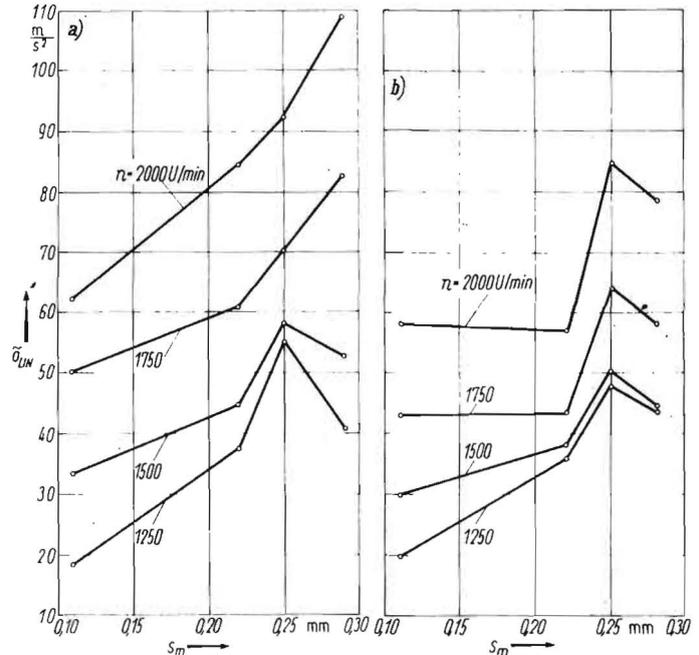


Bild 3
Schwingungsbeschleunigung (Terzband 1600 Hz) bei gleichzeitiger Veränderung des Haupt- und Pleuellagerspiels; a) Meßstelle 2, b) Meßstelle 3

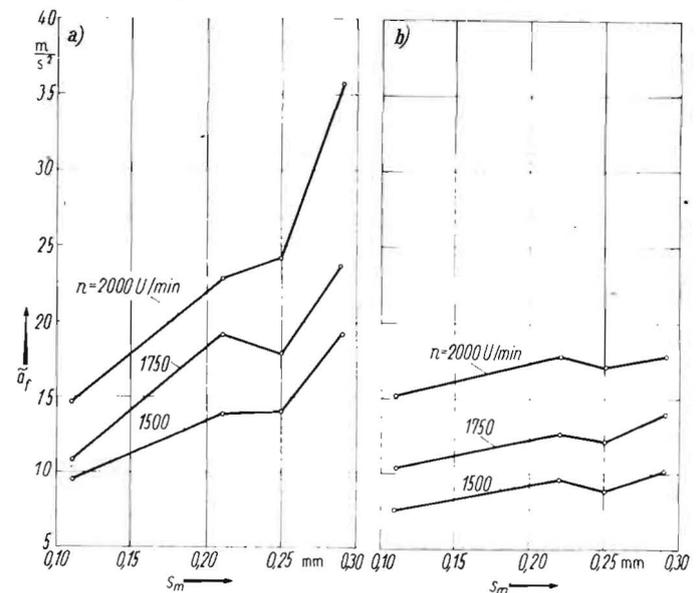
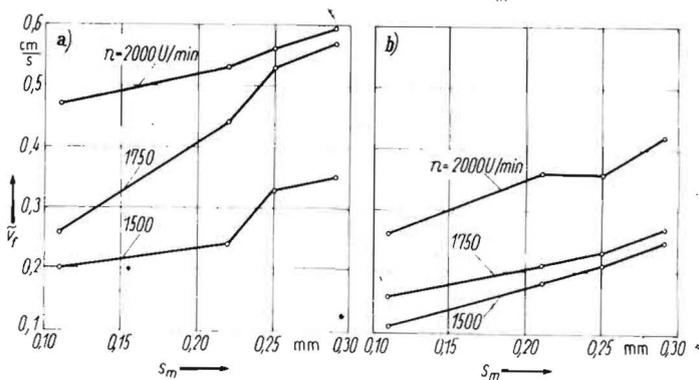


Bild 4
Schwinggeschwindigkeit (Terzband 250 Hz) bei gleichzeitiger Veränderung des Haupt- und Pleuellagerspiels; a) Meßstelle 5, b) Meßstelle 6



- Ventilmechanismus einschließlich Steuerräder
- Motoraufhängung.

In diesem Untersuchungskomplex wurde das Spiel in einem bestimmten Pleuellager stufenweise verändert, und an allen Meßstellen wurden die Schwingungspegel aufgenommen. Das erwartete Ansteigen der Schwingungspegel an den unmittelbar benachbarten Meßstellen 2 und 3 gegenüber den Werten an den weiter entfernten Meßstellen 4 bis 7 war nicht eindeutig vorhanden. Die gleiche Tendenz war bei zusätzlicher Lagerspielveränderung an beiden benachbarten Hauptlagern zu bemerken (Bild 5). Daraus läßt sich ableiten, daß die Veränderung eines Lagerspiels alle anderen Meßstellen maßgeblich mit beeinflusst.

Eine weitere Anormalität spiegelt sich darin wider, daß die Werte für das Spiel III teilweise zwischen den Kurvenzügen für die Spiele I und II liegen. Eine daraufhin durchgeführte Wiederholung der Meßreihe für das Spiel III brachte keine anderen Ergebnisse, so daß direkte Fehlmessungen ausgeschlossen werden können.

Insgesamt konnte anhand von weiteren Untersuchungen festgestellt werden, daß mit Schwingungsmessungen in der beschriebenen Form selbst unter Prüfstandbedingungen ein Erkennen von vorzeitigem Verschleiß einer Lagerstelle nicht mit Sicherheit möglich ist. Die nicht einheitlichen Tendenzen bei den einzelnen Spieluntersuchungen können eventuell z.T. auch auf mechanische Ursachen zurückgeführt werden (nicht kontrollierbare bzw. reproduzierbare Montagebedingungen bzw. reproduzierbare Montagebedingungen der Lagerschalen und der Kurbelwelle).

Der Einfluß des Verschleißes der Kolben-Gleitbuchsen-Gruppe wurde durch den Einbau einer Baugruppe eines zur Instandsetzung angelieferten Motors simuliert.

Die Ergebnisse der Messungen zeigten keine eindeutigen Tendenzen, da sowohl erhebliche Unterschiede zwischen Kurven für den Originalzustand und für den Verschleißzustand an den betreffenden Meßstellen 2 und 3 als auch Überschneidungen der Kurven für die Original- und Austauschpaarungen auftraten. Allerdings muß einschränkend festgestellt werden, daß der eingewechselte Kolben gegenüber dem Originalzustand bis auf das Stoßspiel der Kolbenringe nur geringfügige Abweichungen in den Abmessungen aufzuweisen hatte.

Der Einfluß des Ventilmechanismus wurde durch Verändern des Ventilspiels untersucht (Bild 6). Durch die erhebliche Spielvergrößerung um 0,8 mm am Einlaß- und Auslaßventil des Zylinders 5 entstanden Meßwertänderungen von mehr als 100%. Für die \bar{a}_r -Werte zeichnen sich an der Meßstelle 2 einheitlich Maxima ab, so daß allein mit der Ventilspieländerung eine starke Verfälschung der Beschleunigungswerte am Kurbelgehäuse in Höhe der Kurbelwelle zu erwarten ist.

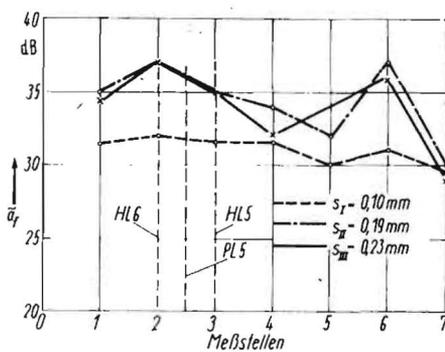


Bild 5. Beschleunigungspegel (Terzband 1600 Hz) bei simuliertem Lagerspiel an den Hauptlagern (HL) 5 und 6 und am Pleuellager (PL) 5 des Motors 6 VD 14,5/12-1 SRW ($n = 1500 \text{ U/min}$)

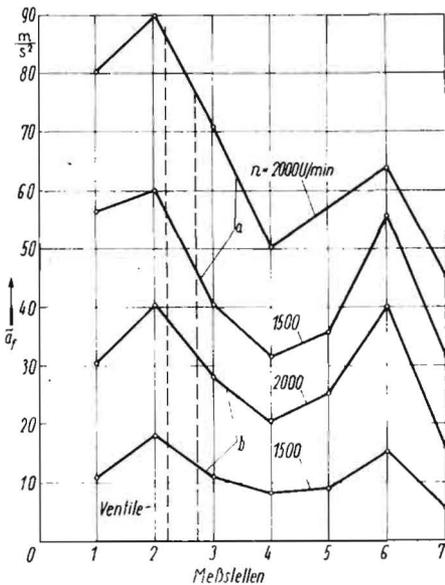


Bild 6. Schwingungsbeschleunigung (Terzband 1600 Hz) bei verändertem Ventilspiel am Zylinder 5 (s_{11} am Pleuellager 5); a Ventilspiel verändert (1,0/1,0 mm), b Ventilspiel original (0,1/0,2 mm)

Weitere Beeinflussungen waren vom Verbrennungsvorgang und vom Einspritzvorgang zu erwarten. Dazu wurde die Einspritzpumpe auf Nullförderung gestellt, ohne die Pumpe mechanisch abzuschalten, so daß der Prüfmotor im Schlepptrieb gefahren wurde. Erwartungsgemäß ergaben sich eindeutige Unterschiede in den Effektivwerten gegenüber dem Motorbetrieb. Die Schwankungen zwischen den einzelnen Meßstellen blieben hier aber relativ gering, so daß sich die vergrößerten Lagerspiele an den Meßstellen 2 und 3 kaum abheben.

4. Schlußfolgerungen

Ohne den Einfluß der Motoraufhängung sowie die Auswirkungen des natürlichen Verschleißes untersucht zu haben, kann festgestellt werden, daß die Aussagekraft der Lagerspieldiagnose mit Hilfe von Schwingungsmessungen in starkem Maß von Einflußfaktoren aus dem Bereich des Zylinderblocks beeinträchtigt wird, die durch Frequenzanalyse in der angewendeten Form, d. h. Effektivwertbildung in Terzbandbreite, nicht eliminierbar waren. Deshalb wurde empfohlen, die vibroakustischen Diagnoseverfahren zur Lagerspieldiagnose an Fahrzeugdieselmotoren in der vorliegenden Form nicht einzusetzen.

Das bedeutet nicht die grundsätzliche Ablehnung solcher Verfahren, im Gegenteil, zur Nutzung des hohen Informationsgehalts der Maschinenschwingungen müssen die Möglichkeiten der Weiterentwicklung derartiger Verfahren ernsthaft geprüft werden. Erste positive Anhaltspunkte in dieser Richtung sind vorhanden. So ist vorgesehen, diese Problematik für Motor-, Getriebe- und hydraulische Baugruppen von Landmaschinen und Traktoren an der Sektion Landtechnik weiter zu bearbeiten.

5. Zusammenfassung

Auf der Grundlage ungarischer und sowjetischer Erfahrungen wurden vibroakustische Untersuchungen zur Lagerspieldiagnose an der Kurbelwellenlagergruppe von Fahrzeugdieselmotoren mit dem Ziel durchgeführt, die Eignung dieser Verfahren für Dieselmotoren der DDR-Produktion unter Verwendung gegenwärtig verfügbarer Schwingungsmessungstechnik nachzuweisen. In Voruntersuchungen wurde zunächst das günstigste Meßregime für die Prüfstandversuche ermittelt. Im Ergebnis der Hauptuntersuchungen bei Simulation von stufenweisem Hauptlager- und Pleuellagerverschleiß ergaben sich an den einzelnen Meßstellen unterschiedliche Abhängigkeiten vom Lagerspiel, die sehr stark von den Störfaktoren aus dem Bereich des Zylinderblocks (Ventilmechanismus der Einspritzanlage, Zustand der Kolben-Gleitbuchsen-Gruppe) beeinflusst werden. Diese sind durch einfache Frequenzanalyse des abgestrahlten Schwingungssignals nicht ausreichend eliminierbar, so daß dieses Verfahren in der vorliegenden Form für eine weitere Anwendung nicht empfohlen werden kann.

Literatur

- [1] Mrasik: Geräuschmessungen zum Bestimmen des Verschleißzustandes von Verbrennungsmotoren. Tagungsmaterial, KDT-Fachausschuß „Technische Diagnostik“, Berlin 1972.
- [2] Belskich, W. I.: Zustandsdiagnose und Einstellarbeiten an Traktoren (in russischer Sprache). Moskau: Verlag Kolos 1973.
- [3] Maack, H.-H.; Troppens, D.: Verfahrenssystematisierung — Technische Diagnostik. Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Abschlußbericht 1975. A 1509

**Allen unseren Lesern, Autoren und Mitarbeitern
wünschen wir für das Jahr 1977 Glück und Erfolg!**

Redaktion agrartechnik