

# Optimale Oberflächenqualität der Kolbenlaufbahnen von instand gesetzten Dieselmotoren

Dozent Dr.-Ing. G. Stegemann, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Technologie der Instandsetzung  
Dipl.-Ing. B. Hidde, KDT, Ingenieurschule für Landtechnik „M. I. Kalinin“ Friesack  
Dr.-Ing. H. Bock, VEB Harzer Werke Blankenburg

## Verwendete Formelzeichen

$P_m$	kW	mechanische Verlustleistung
$R_a$	$\mu\text{m}$	arithmetischer Mittenrauhwert
$R_m$	$\mu\text{m}$	Rauhtiefe
$R_z$	$\mu\text{m}$	mittlere Rauheit
$s$	$\mu\text{m}$	Schnitttiefe
$s_c$	$\mu\text{m}$	Schnitttiefe der Grundstruktur
$s_p$	$\mu\text{m}$	Schnitttiefe der tragenden Plateaustruktur
$t$	min	Versuchsdauer
$t_{p, sp}$	%	Traganteil der Schnitttiefe $s_p$
$v_{01}$	$\text{mm}^3/\text{cm}^2$	Ölhaltevolumen

## 1. Einführung

Die Qualität instand gesetzter Dieselmotoren wird weitestgehend durch die zielgerichtete bewußte Beeinflussung der dafür verantwortlichen, komplex wirkenden Faktoren bestimmt [1]. Analysen zeigen, daß die Lebensdauer instand gesetzter Motoren maßgeblich durch die Funktionsfähigkeit der Paarung Zylinderlaufbuchse-Kolben-Kolbenring (Kolbengruppe), begrenzt wird [2], vor allem durch überhöhten Ölverbrauch und unzulässige Kompressionsdruckverluste.

Allgemein kann davon ausgegangen werden, daß der größte Anteil der mechanischen Verluste im Triebwerk von Verbrennungsmotoren der Kolbengruppe zuzurechnen ist. Nach einer Zusammenstellung in [3] beträgt dieser Anteil in Abhängigkeit von bestimmten Größen, wie z. B. Motorbauart und -belastung, Drehzahl sowie Temperatur, zwischen 21 und 66 %, wobei auf die Kolbengruppe gewöhnlich mehr als die Hälfte der mechanischen Verluste entfällt. Untersuchungen an grundinstand gesetzten Mehrzylinderdieselmotoren ergaben, daß diese Anteile an der oberen Grenze des angegebenen Bereichs (60 bis 68 %) bei gleichzeitig deutlich nach oben abweichendem Reibmitteldruck lagen.

Da durch die Verbesserung des mechanischen Wirkungsgrades neben einer Lebensdauererhöhung eine Verringerung des Kraftstoffverbrauchs sowie eine Senkung der Umweltbelastung erreicht werden kann, ist der Gestaltung der Reibungsbedingungen in der

Kolbengruppe bei der Grundinstandsetzung von Dieselmotoren eine besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Aus der Sicht der Instandsetzung betrifft das die Ausweitung des hydrodynamischen Traganteils in dieser Paarung, vorrangig durch die Gestaltung der Kolbenlaufbahn in der Zylinderlaufbuchse. Zu fordern ist, daß durch entsprechende Instandsetzungsmaßnahmen keine negative Beeinflussung der Dichtfunktion des Kolbens und der Kolbenringe bezüglich Gas- und Öldurchtritt erfolgen darf.

Darüber hinaus sind abweichende nutzungs- und instandsetzungsbedingte Form- und Lageabweichungen in den Paarungen instand gesetzter Motoren gegenüber fabriktypischen Erzeugnissen zu beachten, vor allem begründet durch die aus wirtschaftlicher Sicht durchgeführte Paarung von Wiederverwendungsteilen, Neuteilen und instand gesetzten Einzelteilen sowie beeinflusst durch die in den Instandsetzungsbetrieben verfügbare materiell-technische Basis.

Schwerpunkte der Instandsetzung der Kolbengruppe sind neben der bereits aufgeführten Gestaltung der Kolbenlaufbahn in der Zylinderlaufbuchse die Sicherung der Rechtwinkligkeit von Zylinderlaufbuchse/Kolben zur Kurbelwelle, die Vermeidung unzulässiger Formabweichungen an der Zylinderlaufbuchse sowie eine lagestabile Einspannung der Zylinderlaufbuchse im Zylinderblock. Letzteres wird im wesentlichen durch Korrosion und Spaltkavitation am Auflagebalkon sowie durch Verschleiß in der unteren Einspannung der Zylinderlaufbuchse im Zylinderblock erschwert. Die Vermessung mehrfach genutzter Zylinderblöcke im Rahmen der spezialisierten Motoreninstandsetzung ergab für die untere Einspannbohrung (Passung H7) einen korrelativen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Nutzungsjahre und einer Durchmesserergrößerung. Dabei überwog eine Durchmesserergrößerung quer zur Hauptlagerbohrung mit wesentlichen Überschreitungen der zulässigen Toleranz. So entstehende unzulässige Form- und

Lageabweichungen führen zu einer verstärkten Dynamik und somit zu einer erhöhten Beanspruchung in der Kolbengruppe.

Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich auf Untersuchungen zur Gestaltung von Kolbenlaufbahnen in Zylinderlaufbuchsen. Eingegangen wird vor allem auf den Einfluß der Oberflächentopographie der Kolbenlaufbahn auf das Einlaufverhalten, auf Verbrauchs- sowie Rauchemissionswerte.

## 2. Definition und Bewertung der Oberflächenqualität von Kolbenlaufbahnen instand gesetzter Zylinderlaufbuchsen

Die fachgerechte Beurteilung gehorter Kolbenlaufbahnen erfordert über die traditionellen Kennwerte ( $R_a$ ,  $R_m$ ,  $R_z$ ) hinaus sowohl qualitative Informationen als auch quantitative Aussagen zur Randzonen- und Oberflächenstruktur. Ausgehend davon, daß die Kolbenlaufbahn eine technische Oberfläche darstellt, kann sich die Auswertung nicht nur auf ein ebenes Gebilde konzentrieren, sondern muß die räumlichen Verhältnisse aufgrund des Einflusses der mechanischen Bearbeitung auf die Werkstoffeigenschaften in der Randzone einbeziehen. Im einzelnen sind folgende Kennwerte von Bedeutung:

- Senkrechtengrößen nach Standard TGL RGW 1156; hierzu zählen die Rauhtiefe  $R_m$  (maximale Rauhtiefe), die mittlere Rauheit  $R_z$  und der arithmetische Mittenrauhwert  $R_a$ .
- Profiltraganteil nach Standard TGL RGW 1156 als Verhältnis der Summe der tragenden Längen (Schnittlängen) zur Meßstrecke, wenn das Profil durch die Schnittlinie äquidistant von der höchsten Profilschneidlinie geschnitten wird.
- Profiltraganteilkurve nach Standard TGL RGW 1156 (Abbottsche Tragkurve); hierein wird der funktionelle Zusammenhang zwischen den Zahlenwerten des Profiltraganteils  $t_p$  und dem Niveauband  $P$  (auch Schnitttiefe  $s$ ) dargestellt. So zeigen plateaugehorte Kolbenlaufbahnen beim Über-

Fortsetzung von Seite 176

von 2,5 bis 4,5 km bei allen in diesem Bereich stationierten landtechnischen Arbeitsmitteln die Pflegezyklen komplett (ohne tägliche Pflege) in der Pflegestation durchgeführt werden.

- Die Nutzung von Wartungspunkten WP 1 für Pflegegruppen ohne Ölwechsel ist bei einer Entfernung zwischen Standort und Pflegestation von über rd. 5 km energetisch effektiv, vor allem für die kampagneweise genutzte Landtechnik.
- Untersuchungen haben ergeben, daß sich die Primärenergieverbrauchsanteile für Heizung und Beleuchtung bei der Durchführung einer niederen Pflegegruppe in den Pflegeeinrichtungen WP 1:WP 2:PS

wie 1:6:17 verhalten, wobei der Anteil für Beleuchtung mit rd. 10 % in allen Einrichtungen im wesentlichen konstant ist. Damit dominiert der Einfluß des Verbrauchsanteils für Heizung auf die Modellaussagen, was auch in großen Grenzentfernungen zwischen WP 2 und PS zum Ausdruck kommt. Daraus läßt sich die Forderung ableiten, zur breiteren effektiven Nutzung des WP 2 - d. h. Reduzierung der Grenzentfernung - seinen Nebenverbrauch für die Heizung durch geeignete Maßnahmen zu reduzieren.

- Das vorgestellte Modell ist universell für alle im Vorleistungsbereich vorhandenen mobilen landtechnischen Arbeitsmittel und Pflegeeinrichtungen der verschiedenen Ausführungen anwendbar.

## Literatur

- [1] Lietz, B.: Die Aufgaben des einheitlichen technischen Vorleistungsbereichs bei der umfassenden Intensivierung der Produktion in der Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft. agrartechnik, Berlin 39(1989)2, S. 51-55.
- [2] Autorenkollektiv: Rationelles Pflegen und Prüfen der Landtechnik in vorhandenen Gebäuden. Markkleeberg: agrabuch 1975.
- [3] Müller, G.: Technologische Fertigungsvorbereitung Maschinenbau. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.
- [4] Leopold, K.: Energetische Aufwendungen für die Instandhaltung - dargestellt an ausgewählten Prozessen der landtechnischen Instandhaltung. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation B 1989.
- [5] Autorenkollektiv: System von Technikstützpunkten. Markkleeberg: agrabuch 1986. A 5915

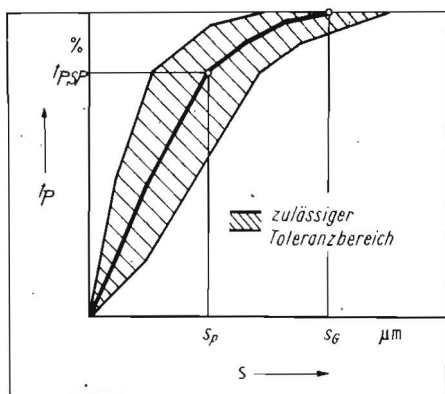


Bild 1. Ideale Profiltraganteilkurve nach [4]

gang von der tragenden Struktur (Plateau) zur Grundstruktur einen Knick, der durch die Koordinaten  $s_p$  und  $t_{p,sp}$  beschrieben wird (Bild 1). Während der Reibbeanspruchung verändert sich dieses Profil. Es gilt als nachgewiesen, daß sich die Höhenverteilung der Rauheitsspitzen mit der Normalverteilung beschreiben läßt.

Mit den Koordinaten  $s_p$ ,  $s_G$  und  $t_{p,sp}$  läßt sich das Ölhaltevolumen  $v_{OI}$  (als ein Kennwert für die Beschreibung der Oberflächentopographie und somit für die Schmierbedingungen) bezogen auf eine Mantelfläche von  $1 \text{ cm}^2$  berechnen:

$$v_{OI} = \frac{(s_G - s_p) (100\% - t_{p,sp})}{2 \cdot 10^3} \quad (1)$$

Als Richtwerte gelten [4]:

- $s_p = 1 \dots 4 \text{ } \mu\text{m}$
- $t_{p,sp} = 50 \dots 90\%$
- $s_G = 6 \dots 10 \text{ } \mu\text{m}$ .

Die bisher durchgeführte manuelle Ermittlung der Koordinaten aus der Traganteilkurve für die Berechnung des Ölhaltevolumens konnte nach einem Approximationsverfahren mit Hilfe eines Rechnerprogramms bei gleichzeitiger Erhöhung der Genauigkeit weiter rationalisiert werden.

- Werkstofftechnische Kennwerte  
Dabei interessieren vor allem „Oberflächendeformationen“ infolge der mechanischen Bearbeitung und die damit einhergehenden Änderungen der Gefügestruktur in der Randzone (z. B.: Graphitfreileigungsquote und Verfestigungsgrad) sowie die Änderungen der physikalischen Eigenschaften der Oberflächenschicht während des Einlaufvorgangs.
- Visuelle Bewertung des Profils  
Hierzu zählen die Beurteilung des Profilschriebes sowie die fotografische Aufnahme zur Bewertung der Größe und Gleichmäßigkeit des Honwinkels.

Die o. g. Kennwerte tragen insgesamt dazu bei, das räumliche Gebilde einer technischen Oberfläche zu beschreiben und lassen Rückschlüsse auf die Veränderung der Oberflächengeometrie und -beschaffenheit und somit Schlußfolgerungen für den technologischen Prozeß der Instandsetzung zu. Die meßtechnische Erfassung und Bewertung derartiger Oberflächenstrukturen stellt hohe Anforderungen an die Meßtechnik sowie an die Organisation und Realisierung des Prüfwesens im Betrieb. Da in den Instandsetzungsbetrieben derzeit keine ortsveränderlichen Meßgeräte zur Verfügung stehen, die diese Anforderungen erfüllen, und die zu vermessenden Einzelteile teilweise sperrig oder von größerer Masse sind, ist größtenteils nur der „Umweg“ über das „Oberflä-

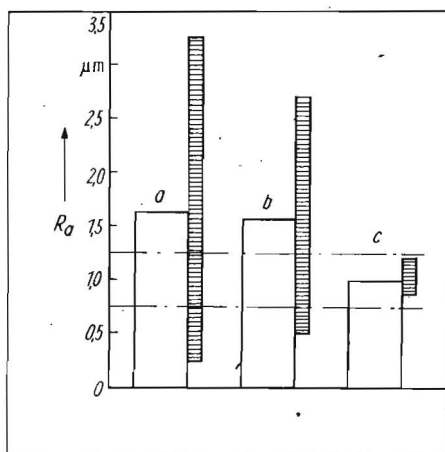


Bild 3. Mittelwert und Streubreite der arithmetischen Mittenrauhweite gehonter Zylinderlaufbuchsen;  
a regeneriert (konventionell gehont);  $n = 16$   
b regeneriert (konventionell gehont) und beschichtet;  $n = 16$   
c fabriktneu (plateau gehont);  $n = 16$   
--- Fertigungstoleranz

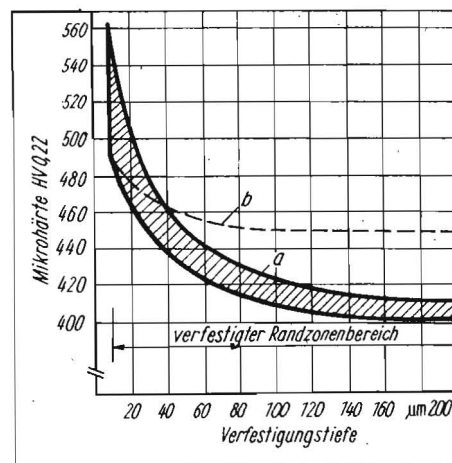


Bild 5. Abklingkurve der Verfestigung;  
a regeneriert; regeneriert und beschichtet (Streubreite)  
b fabriktneu

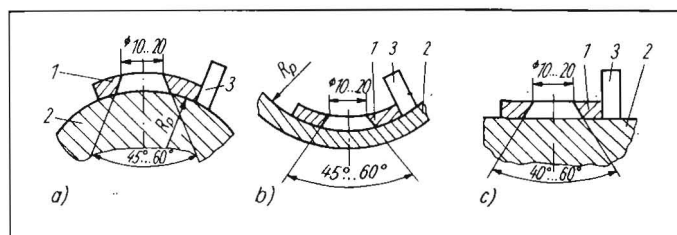


Bild 2. Formvarianten zur Herstellung von Negativabdrücken  
a) wellenförmiges Einzelteil  
b) zylindrisches Einzelteil  
c) geplantes Einzelteil  
1 Form, 2 Werkstück (R, Werkstückradius), 3 Dauermagnet

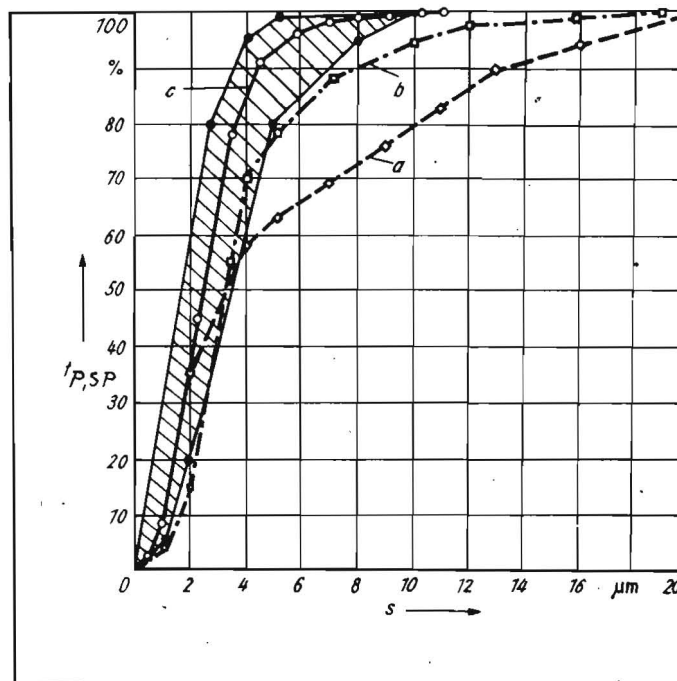


Bild 4. Profiltraganteilkurven gehonter Zylinderlaufbuchsen;  
a regeneriert (konventionell gehont), b regeneriert (konventionell gehont) und beschichtet, c plateau gehont (fabriktneu)  
schraffiert: zulässiger Toleranzbereich

chennegativ“ und dessen anschließende Vermessung auf einer stationären Meßeinrichtung möglich.

Für die „Negativanfertigung“ werden folgende Verfahren angewendet:

- Abdrücke auf Aluminiumstreifen
- Fax-Filmaufnahmen
- Abdruckmasseverfahren
- Kalloplast/-cryl-Abdruck.

Untersuchungen zeigen, daß die Negativabdrücke aus Kalloplast/-cryl für die Nutzung

im Instandsetzungsprozeß gut geeignet sind. Spezielle Formvarianten (Bild 2) sichern die Herstellung der Abdrücke in der geforderten Qualität (Ebenheit, maximale Dicke von 4 bis 5 mm, Kennzeichnung) und erleichtern die Abdrucknahme selbst.

Die Negativabdrücke aus kalthärtendem Plastwerkstoff auf Methacrylbasis können nach einer Aushärtezeit von rd. 5 bis 7 min mit der Form von der Oberfläche entfernt und aus dieser herausgedrückt werden.

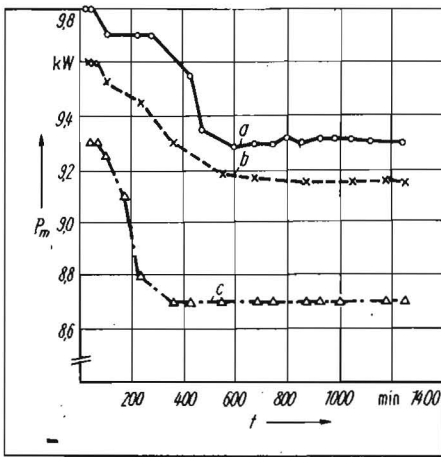


Bild 6. Mechanische Verlustleistung eines Motors 4 VD 14,5/12 SRW (kombinierter Motor- und Schleppbetrieb,  $n = 1000 \text{ min}^{-1}$ ,  $\theta_{01} = 90^\circ\text{C}$ ); a regeneriert (konventionell gehont), b regeneriert (konventionell gehont) und beschichtet, c fabrikenau (plateau gehont)

### Ergebnisse

Die notwendige Verbesserung der Qualität instand gesetzter Motoren erfordert in zunehmendem Maß das Aufdecken der Schädigungsmechanismen in ihrer Abhängigkeit von Parametern der Instandsetzung durch gezielte Detailuntersuchungen und Ursachenforschung. Nachfolgend wird über Ergebnisse aus Untersuchungen zum Einfluß der Oberflächentopographie von Kolbenlaufbahnen in Zylinderlaufbuchsen auf Leistungs- und Verbrauchskenngrößen, ausgewählte Diagnoseparameter sowie den Verschleiß berichtet.

Verglichen werden die Laufbahnvarianten:

- konventionell gehont (z. Z. vorherrschende Form der Feinbearbeitung bei der Regenerierung von Zylinderlaufbuchsen in der Instandsetzung)
- plateau gehont
- konventionell gehont und messingreibbeschichtet (chemisch-mechanisch).

Dazu wurden Versuche nach einem 20-h-fpogramm (kombinierter Motor- und Schleppbetrieb) auf einer Pendelmaschine GPF c 15 h am Motor 4 VD 14,5/12 SRW durchgeführt. Ergebnisse der Nullvermessung der untersuchten Zylinderlaufbuchsen sind in den Bildern 3 und 4 dargestellt.

Für die regenerierten Zylinderlaufbuchsen sind sowohl bei den  $R_a$ -Werten als auch bei den Profilraganteilkurven unzulässige Abweichungen festzustellen, die vor allem die Grenzen der in der Instandsetzung genutzten Honverfahren gegenüber dem Plateauhonen zeigen. Aus diesen Messungen resultieren auch die erheblich voneinander abweichenden Ölhaltevolumina  $v_{01}$ . Während der Mittelwert für die plateau gehonten Zylinderlaufbuchsen  $v_{01P} = 0,029 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$  mit

den in der Literatur [4] angegebenen Richtwerten übereinstimmt, weicht der Mittelwert für die konventionell gehonten Zylinderlaufbuchsen  $v_{01K} = 0,129 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$  sehr stark nach oben ab und läßt für diese Honvariante höhere Ölverbrauchswerte erwarten.

Die Auswertung werkstofftechnischer Kennwerte zeigt für plateau gehonten Kolbenlaufbahnen eine überwiegend normale, ohne Beeinträchtigung vorliegende „Graphitabildung“. Die regenerierten Kolbenlaufbahnen erfüllen dieses Merkmal nur mit rd. 20 bis 30%. Die Intensität der Verfestigung der Randzone zum Werkstückgrundgefüge infolge der mechanischen Bearbeitung ist im Bild 5 dargestellt.

Die abweichenden Verfestigungsgrade der regenerierten Kolbenlaufbahnen lassen u. a. auch auf abweichende technologische Parameter der Honbearbeitung schließen. Die für die Grundhärte (Tiefe 0,2 mm) maßgeblichen Elemente Kohlenstoff, Chrom und Phosphor lagen bei den regenerierten Zylinderlaufbuchsen um 5 bis 10% unter den Richtwerten.

Insgesamt wird eingeschätzt, daß ausgehend vom Gefügestand und von der chemischen Zusammensetzung des Werkstoffs der Zylinderlaufbuchsen die Eigenschaften in der Randzone in hohem Maß durch die Bearbeitung (Schnittwerte, Werkzeugzustand) beeinflusst werden und damit eine Rückwirkung auf das Verschleiß- und Einlaufverhalten eintritt.

Die Prüfstandsuntersuchungen lassen folgende Aussagen zu:

- Plateau gehonten Kolbenlaufbahnen weisen gegenüber den beiden anderen Varianten kürzere Einlaufzeiten und günstigere Gleiteigenschaften auf. Dies ist mit der feinen Oberflächenrauheit der tragenden Plateaustruktur zu erklären und findet seinen Niederschlag in abweichender mechanischer Verlustleistung für die Versuchsvarianten (Bild 6). Dabei wird davon ausgegangen, daß die Gleiteigenschaften der messingreibbeschichteten Kolbenlaufbahnen wesentlich durch die „Ausgangsrauheit“ der Kolbenlaufbahn (feinbearbeitet und unbeschichtet) bestimmt werden.
- Bei sonst gleichen Bedingungen wird die Dichtfunktion gegen Gasdurchtritt vom Brennraum in das Kurbelgehäuse über die gesamte Prüfdauer durch die plateau gehonten Kolbenlaufbahnen am besten erfüllt. Festzustellen ist, daß der Durchblasevolumenstrom (im weitgehend stationären Bereich) für diese Versuchsvariante im Vergleich mit den konventionell gehonten sowie den beschichteten Kolbenlaufbahnen einen um 30 bis 40% geringeren Wert erreicht. Für die Rauchdichtewerte (ermittelt nach Standard TGL 22 984/04) beläuft sich diese Differenz am Ende des Einlaufprogramms auf rd. 15%.
- Bezüglich des spezifischen Kraftstoff- und

Schmierölverbrauchs erreichen die Varianten plateau gehonten und beschichteten Kolbenlaufbahnen zum Prüfende annähernd übereinstimmende Ergebnisse. Für den spezifischen Kraftstoffverbrauch liegen sie um 2 bis 3% und für den Schmierölverbrauch um rd. 30% unterhalb der Werte konventionell gehonten Kolbenlaufbahnen.

Analog sind die Verhältnisse beim Verschleiß (ermittelt mit dem Verschleißmeßgerät M 965 [5]; auf eine parallel dazu durchgeführte Bewertung der Verschleißvorgänge auf der Basis spektroskopischer und ferrografischer Ölanalysen wird an dieser Stelle nicht eingegangen). Wird der mittlere relative Verschleißbetrag für die konventionell gehonten Kolbenlaufbahnen gleich 100% gesetzt, beträgt dieser für die plateau gehonten rd. 70% und für die beschichteten 60%.

### 4. Zusammenfassung

Im Beitrag wird der Einfluß der Oberflächenqualität von Kolbenlaufbahnen in Zylinderlaufbuchsen auf ausgewählte Parameter dargestellt. Die bei der Instandsetzung auftretenden Probleme der Meßtechnik werden anhand durchgeführter Detailuntersuchungen gezeigt. Untersucht wurden die erreichten Qualitäten der Kolbenlaufbahnen und die sich daraus ergebenden Wirkungen auf das Reibungs- und Verschleißverhalten im Rahmen eines kombinierten Motor- und Schleppbetriebs. Verbrauchs- und Emissionsmessungen sowie Messungen von Dichtheitskenngrößen komplettieren die Gesamtaussage, daß das Einlauf-, Betriebs- und Schädigungsverhalten der Kolbengruppe in hohem Maß durch die geometrischen und stofflichen Eigenschaften der Kolbenlaufbahn bestimmt wird.

### Literatur

- [1] Stegemann, G., u. a.: Wechselwirkung Grundinstandsetzungsprozeß von Dieselmotoren und deren Zuverlässigkeitsverhalten. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungszwischenbericht A 2 1988 (unveröffentlicht).
- [2] Göhner, G.: Schadbildanalyse an Motoren 4 VD (ZT 300/W50). VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, Studie 1987 (unveröffentlicht).
- [3] Paschold, R.; Raabe, L.: Ermittlung des Einflusses ausgewählter technisch-technologischer Faktoren der Instandsetzung auf die Reibungsverluste an Verbrennungsmotoren. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1985 (unveröffentlicht).
- [4] Flores, G.: Plateauhonen von Kolbenlaufbahnen – Teil 1. Motortechnische Zeitschrift, Stuttgart 46(1986)1, S. 29–32.
- [5] Vorrichtungen zum Messen des Verschleißes von Maschinenteilen. Moskau: Staatliches Forschungsinstitut für Maschinen 1985. A 5907