

Die Entscheidung über die Nutzung der mittleren oder inneren Skale trifft der Diagnoseschlosser. Auf der Rückseite der Prognoseuhr befindet sich eine Bedienanleitung. Die Prognoseuhr kann für beliebige Schädigungsprozesse genutzt werden, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- Der untersuchte Prozeß muß sich durch additive Schadensakkumulation beschreiben lassen.
- Die Ermittlung des Abnutzungszustands ist möglich.
- Die Bestimmung der mittleren Abnutzungsgeschwindigkeit und der Streuung des Prozesses ist möglich.
- Die Angaben über mittlere effektive Lebensdauer und Schädigungsgrenzen sind vorhanden oder ermittelbar.

Eine *Beispielrechnung* für den Diagnoseparameter „Ölstrom“ soll die Anwendung am Traktor ZT 300 verdeutlichen:

Erstens:
Zusammenstellung der Ausgangsdaten
Neuzustand: 12,0 l/min (aus Fertigungsvorgaben und Diagnosekennlinie)

gemessener Verschleißzustand: 14,8 l/min (Diagnosemeßwert)

Aussonderungsgrenze: 21,0 l/min (Diagnosetechnologie)

mittlere effektive Lebensdauer: 29 300 l DK (betriebliche Unterlagen).

Zweitens:

Wenn die Ausgangsdaten vorliegen, kann die Normierung vorgenommen werden:
$$\frac{\text{gemessener Verschleißzustand} - \text{Neuzustand}}{\text{Aussonderungsgrenze} - \text{Neuzustand}} = \text{normierter Verschleißzustand}$$
$$\frac{14,8 \text{ l/min} - 12,0 \text{ l/min}}{21,0 \text{ l/min} - 12,0 \text{ l/min}} = 0,311$$

Drittens:

Dieser Wert wird auf der äußeren Skale mit einem Zeiger eingestellt (Bild 1, Punkt I).

Viertens:

Für kleine Streuungen des Abnutzungsprozesses kann auf der inneren Skale eine normierte Restbetriebsdauer von 0,213 abgelesen werden (Bild 1, Punkt II).

Fünftens:

Die Rücknormierung erfolgt über die mittlere effektive Lebensdauer:

$$\text{normierte Restbetriebsdauer} \times \text{mittlere effektive Lebensdauer} = \text{Restbetriebsdauer}$$

$0,213 \cdot 29\,300 \text{ l DK} = 6420 \text{ l DK}$

Für den untersuchten Diagnoseparameter beträgt die Restbetriebsdauer 6420 l DK, d. h., daß die entsprechende Baugruppe während der nächsten 6420 l DK Betriebsdauer mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % nicht ausfällt.

Die mit der Prognoseuhr ermittelte Restbetriebsdauer ist im Zusammenhang mit anderen Kriterien eine Entscheidungshilfe für den weiteren Einsatz der Baugruppe und erleichtert die Einsatz- und Instandhaltungsplanung.

Literatur

- [1] Pieper, V.; Tiedge, J.: Zuverlässigkeitsmodelle auf der Grundlage stochastischer Modelle. Math. Operationsforschung und Statistik, Serie Statistik, Berlin 14 (1983) 3.
- [2] Festersen, R.: Restbetriebsdauerprognose – Grundlagen und Anwendungsbereiche. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Dissertation 1986. A 4690

Praktische Erfahrungen bei der Prüfung und Bewertung des Einspritzdruckverlaufs von Kraftstoffsystemen

Dr.-Ing. F. Boór, Institut für Landtechnik (MEMMI) Gödöllő, Ungarische VR

Im Institut für Landtechnik (MEMMI) Gödöllő (UVR) werden seit dem Jahr 1980 auf dem Gebiet der Diagnose des Kraftstoffsystems von Dieselmotoren Forschungsarbeiten durchgeführt. Dabei wurde hauptsächlich die Prüfung und Bewertung des Einspritzdruckverlaufs der Kraftstoffsysteme durchgeführt.

Bei den Untersuchungen kamen das Diesel-Diagnostic-System 850 B (Bild 1) der Firma AVL (Österreich) und später aus ungarischer Produktion das Motordiagnosegerät elkon SD300 (Bild 2) der Firma HITEKA zur Anwendung. Über das Motordiagnosegerät elkon SD300 wurde bereits in [1] berichtet. Erste Ergebnisse der Arbeiten mit diesen Systemen wurden anlässlich des RGW-Symposiums zur landtechnischen Instandhaltung „Selchostechobslushiwanije '81“ vorgetragen und in [2] veröffentlicht. Im folgenden werden deshalb weder das Gerät elkon SD300 noch die gesamte Meßmethode wiedergegeben. Zum besseren Verständnis wird jedoch eine kurze Zusammenfassung der Ausführungen von [1] und [2] den weiteren Betrachtungen vorangestellt.

1. Durchführung der Messungen des Einspritzdruckverlaufs

Der durch das Kraftstoffsystem des Dieselmotors erzeugte und beeinflusste dynamische Einspritzdruckverlauf wird mit Hilfe von piezoelektrischen Druckaufnehmern erfaßt. Diese Druckaufnehmer werden zwischen Einspritzleitung und Düsenhalter des Kraftstoffsystems jedes Zylinders montiert (Bild 3). Dabei ist die gleichzeitige Montage von bis zu 8 Druckgebern möglich. Die in

den Druckgebern indizierte, dem dynamischen Druckverlauf proportionale Spannungsänderung wird an einem Oszilloskop dargestellt. Aus den charakteristischen Punk-

ten der Druckkennlinie (Bild 4) können die Werte

- Förderbeginn α_1'
- Voreinspritzwinkel α_1
- Einspritzbeginn α_2
- Einspritzende α_3
- Einspritzdauer α_4

Bild 1. AVL-Diesel-Diagnostic-System 850 B (Österreich)



Bild 2. Motordiagnosesystem elkon SD300 der Fa. HITEKA (UVR)



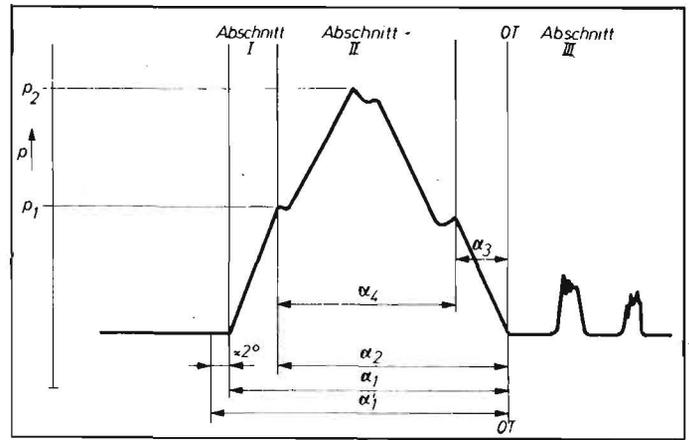
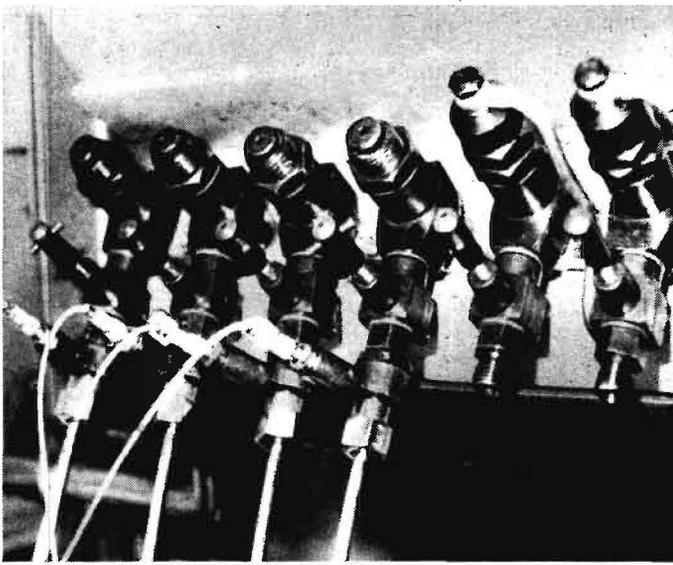


Bild 4. Charakteristische Punkte des Druckverlaufs beim Einbau des Druckgebers am Düsenhalter

Bild 3. Einbau der Druckgeber (System AVL) am Düsenhalter

- dynamischer Einspritzdruck beim Öffnen der Düsennadel p_1
- maximaler dynamischer Einspritzdruck p_2 beim Einbau des Piezogebers am Düsenhalter bestimmt werden. Mit dieser Methode wurden bisher folgende Probleme bewertet [2]:
- Förderbeginn bzw. Voreinspritzwinkel, Einspritzbeginn und Einspritzende in Abhängigkeit von Drehzahl, Einspritzmenge der Einspritzpumpe und Öffnungsdruck der Düsennadel
- Öffnungsdruck in Abhängigkeit von der Pumpendrehzahl.

Mit dieser Methode wurden daraufhin die Kraftstoffsysteme von 7 Traktorenmotoren

beurteilt. Über diese Ergebnisse wird im folgenden berichtet.

2. Einflüsse auf den Druckverlauf in Kraftstoffsystemen

In Auswertung der bereits in [2] beschriebenen Ergebnisse ist eine Bewertung des Druckverlaufs in Kraftstoffsystemen nur möglich, wenn spezielle Randbedingungen erfüllt sowie die Prüfung und Bewertung einzelner Parameter des Einspritzdruckverlaufs nach einem Algorithmus durchgeführt werden. Die Form der Kennlinien des Druckverlaufs hängt u. a. von folgenden konstruktiven Merkmalen der Einspritzanlage ab:

- Durchmesser des Pumpenelements
- Abmessungen der Einspritzleitungen

- Strömungsquerschnitt der Einspritzanlage
- Öffnungsdruck der Einspritzdüse
- Entlastungsvolumen des Druckventils.

Eine Änderung dieser Größen kommt in einer Änderung des Einspritzdruckverlaufs zum Ausdruck. Damit wird bereits offenbar, daß das jedem Motortyp spezifische Einspritzsystem charakteristische Einspritzdruckverläufe hervorbringt, die bei Anwendung dieser Diagnosemethode bekannt sein müssen. Die Form der Kennlinien des Druckverlaufs wird jedoch auch - guten technischen Zustand der Einspritzanlage vorausgesetzt - durch Änderung der Pumpendrehzahl, Kraftstoffänderung und Öffnungsdruck der Einspritzdüse bestimmt. Der Einfluß dieser Größen auf die Form des Druckverlaufs

Bild 5. Einfluß der Drehzahl der Einspritzpumpe n_p auf den Druckverlauf; Druckbilder aufgenommen am Motor 4VD des NKW W50, Einspritzmenge $V = 4 \text{ cm}^3/200$ Hübe, statischer Öffnungsdruck $p_{st} = 150 \text{ bar}$

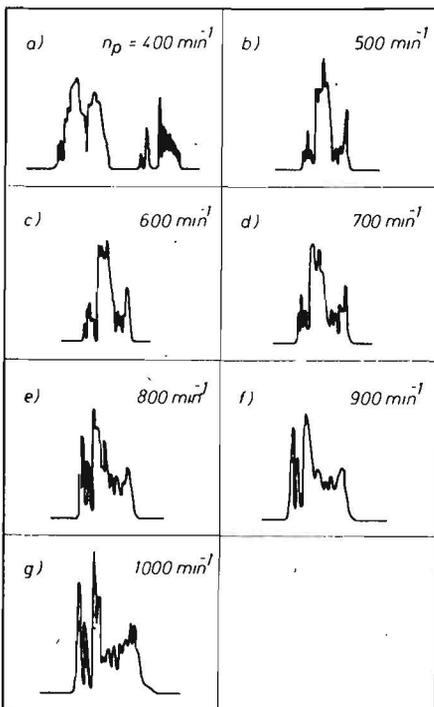


Bild 6. Einfluß des statischen Öffnungsdrucks p_{st} auf den Druckverlauf; Druckbilder aufgenommen am Motor 4VD des NKW W50, Einspritzmenge $V = 4 \text{ cm}^3/200$ Hübe, Pumpendrehzahl $n_p = 500 \text{ min}^{-1}$

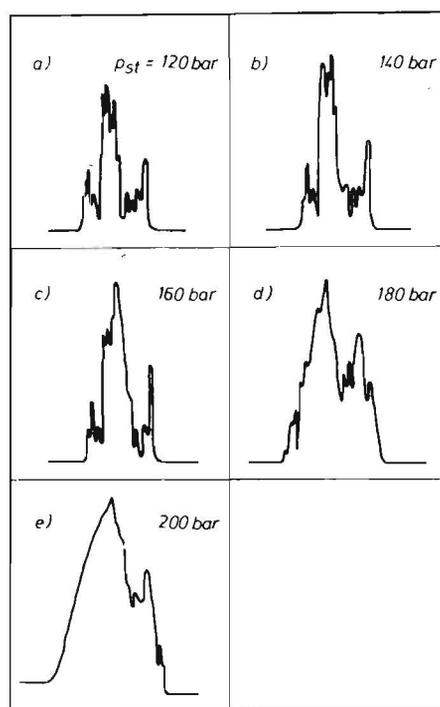
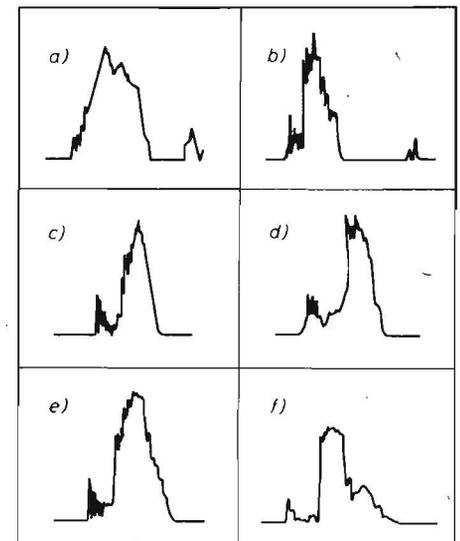


Bild 7. Einfluß von Fehlern an der Einspritzdüse auf den Druckverlauf;

Kurve	Düse	V cm ³ /200 Hübe	p_{st} bar	n_p min ⁻¹
a	dicht	4	175	400
b	undicht	4	175	400
c	undicht	7,2	- ¹⁾	400
d	undicht	9,2	- ¹⁾	500
e	undicht	4	170	500
f	undicht	20	- ²⁾	600

- 1) zu gering, nicht meßbar;
2) zu gering, Düsennadel bleibt oben



muß ebenso bekannt sein und zu einer Abgrenzung der Prüfbedingungen bei Anwendung der Prüfmethode führen. Der Einfluß der Änderung der Drehzahl auf den Druckverlauf ist im Bild 5 dargestellt. Änderungen des Öffnungsdrucks der Einspritzdüse sind im Bild 6 aufgezeichnet, ebenso der Einfluß eines unterschiedlichen Entlastungsdrucks. Im Bild 7 ist der Einfluß undichter Düsen zu verfolgen. Beim Vergleich dieser Bilder erkennt man, daß die Einflußgrößen vor allem den Kurvenbeginn verändern. Um zwischen den Auswirkungen undichter Düsen, Drehzahländerungen usw. zu unterscheiden, muß die Bewertung des Druckverlaufs grundsätzlich an eine bestimmte Drehzahl gebunden werden. Weiterhin ist es noch erforderlich, den Öffnungsdruck der Düse zu bestimmen und genau auf den vorgeschriebenen Wert einzustellen. Die Messung des dynamischen Öffnungsdrucks wird bei Leerlaufdrehzahl vorgenommen. Undichtheiten des Druckventils und der Pumpenelemente der Einspritzpumpe äußern sich in einem Versatz des Anfangspunktes des Druckverlaufs (Bild 8). Um diese Erscheinung zuverlässig erkennen zu können, muß die Einspritzverzögerung ($\alpha_1 - \alpha_2$ nach Bild 4) für Druckventile und Elemente guten Zustands bekannt sein. Eine bedeutende Zunahme der Einspritzverzögerung weist eindeutig auf Undichtheiten der erwähnten Einheiten hin.

Anhand der bisherigen Untersuchungen wird die Bewertung des Druckverlaufs in drei Abschnitten durchgeführt (Bild 4):

Abschnitt I: Einspritzverzögerung bis zum Öffnungsbeginn der Düse

Abschnitt II: Einspritzdauer

Abschnitt III: Druckänderung nach dem Schließen der Düse.

Im Abschnitt I werden durch Undichtheiten die Druckverläufe maßgebend beeinflusst. Im Abschnitt II sind Einflüsse des Maximaldrucks, der Gleichförderung u. a. nachweisbar, und im Abschnitt III sind die Auswirkungen falscher Leitungslängen, zu hoher Maximaldrücke u. a. erkennbar.

Um jedoch eine Bewertung der Druckverläufe vornehmen und Fehler abgrenzen zu können, muß folgende Reihenfolge der Betrachtung des Einspritzdruckverlaufs beachtet werden:

- Prüfung nur bei ruhigem Verlauf der Kurve
- Prüfung des gleichen Beginns des Druckverlaufs, des gleichen Einspritzbeginns und der Höhe des Öffnungsdrucks an jedem Einspritzsystem
- Prüfung des Druckanstiegs während der Einspritzverzögerung
- Prüfung der Einspritzverzögerung jedes Systems
- Bestimmung und Vergleich des Einspritzendes und der Einspritzdauer
- Prüfung des Maximaldrucks jeder Einspritzdüse
- Bestimmung des Restdrucks in der Einspritzleitung
- Bewertung der Druckschwingungen nach Beendigung der Einspritzung unter Beachtung der besonders schadhafte Nachspritzung.

3. Auswirkungen von Fehlern im Einspritzsystem von Dieselmotoren

Die Prüfung des Druckverlaufs wies auf einige typische Fehler im Einspritzsystem hin, die bislang wenig oder überhaupt nicht beachtet wurden. Winkelunterschiede der ein-

zelnen Elemente der Einspritzpumpe in bezug auf Förderbeginn oder Einspritzdauer sind ein sehr häufiges Fehlersymptom. Entweder wurde die Einstellung auf dem Prüfstand oder bei der Montage der Einspritzpumpe an den Dieselmotor nicht genügend sorgfältig durchgeführt bzw. die Genauigkeit des Prüfstands muß als nicht ausreichend für dieses Problem angesehen werden. Dieser Fehler kann auch bei fabrikneuen Einspritzpumpen festgestellt werden. Die Auswirkungen solcher Fehler auf den Kraftstoffverbrauch sowie auf die Leistung des Traktors MTS-80 wurden durch Abbremsen des Motors mit Hilfe der im Bild 9 dargestellten zapfwellenangetriebenen Bremsanlage bestimmt.

Bei einer Winkelabweichung des Förderbeginns von 4 °KW (Kurbelwellenwinkel) an einem Pumpenelement kann keine Leistungsänderung festgestellt werden, der spezifische Kraftstoffverbrauch nimmt aber 2 bis 3 % zu. Bei einer Abweichung von 8 °KW des Förderbeginns an einem Pumpenelement nehmen die Leistung um 5 bis 6 % und der spezifische Kraftstoffverbrauch um 6 bis 8 % zu. Bei einer Abweichung von 16 °KW des Förderbeginns an einem Pumpenelement nimmt die Leistung um 16,5 % ab und der spezifische Kraftstoffverbrauch um 16 % zu.

Ein weiteres Problem, das gegenwärtig kaum beachtet wurde, ist die Dichtheit der Düsen und Druckventile. Vielfach werden diese Baugruppen bei Reparaturen automatisch gewechselt, was sich in der Materialökonomie ungünstig auswirkt.

Bei Motoren mit sechs und mehr Zylindern kann der ordnungswidrige Lauf des Motors oder dessen Leistungsabnahme aufgrund von Fehlern in einzelnen Einspritzsystemen vom Fahrer nicht mehr wahrgenommen werden. Ohne systematische Überprüfungen des Einspritzsystems werden sich von diesen Fehlern ausgehend Folgeschäden entwickeln, die den Ausfall des Traktors verursachen können. Beim Traktorenmotor D-240 verursacht die Undichtheit einer Düse einen Leistungsabfall von 13 % und eine Zunahme

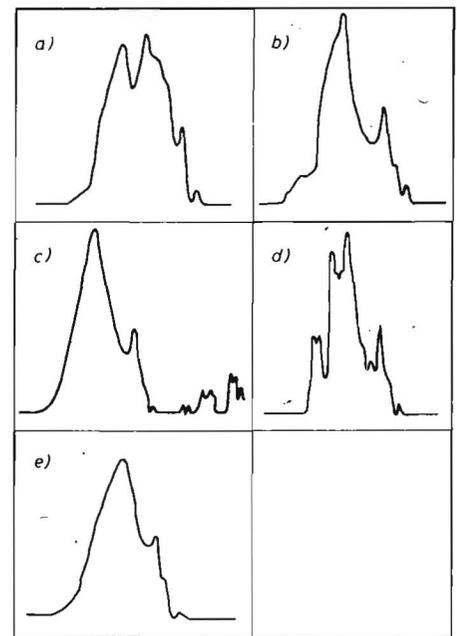


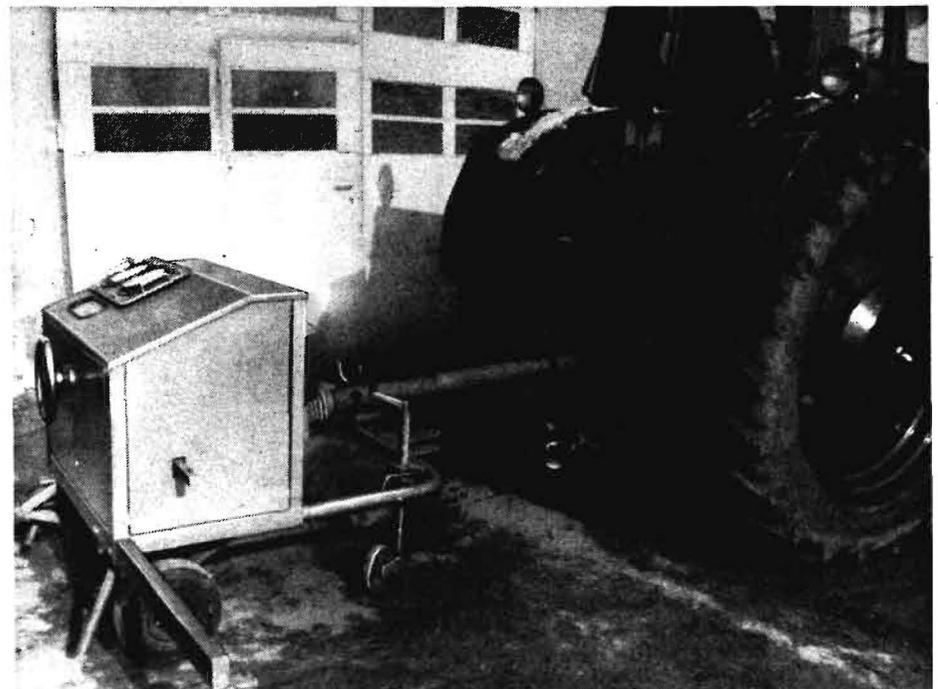
Bild 8. Einfluß von Fehlern am Druckventil auf den Druckverlauf;

Kurve	Druckventil	V cm ³ /200 Hübe	p ₁ bar	n ₀ min ⁻¹
a	undicht	8	175	800
b	undicht	6	175	700
c	k ¹¹	6	175	600
d	g ²¹	6	175	600
e	undicht	3,2	175	600

- 1) kleines Entlastungsvolumen;
- 2) wie Kurve a, aber großes Entlastungsvolumen

des spezifischen Kraftstoffverbrauchs um 24 %. Die Undichtheit zweier Düsen führt zu einer Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs um 34 %. Ein zu niedriger Öffnungsdruck der Düse verursacht eine minimale Abnahme der Motorleistung des Traktors MTS-80, aber ein Ansteigen des spezifischen Kraftstoffverbrauchs um 5 bis 6 %. Undichtheiten des

Bild 9. Zapfwellenangetriebene mobile Bremsanlage am Traktor MTS-80



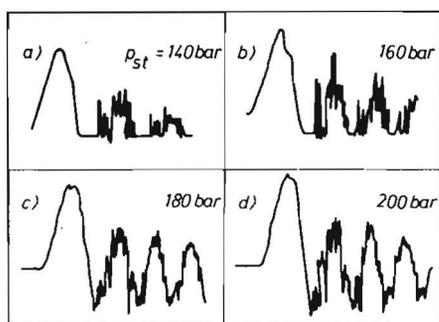


Bild 10. Einfluß verschlissener oder falsch eingestellter Elemente auf den Druckverlauf (Nullabspritzung); $n_p = 400 \text{ min}^{-1}$

Druckventils führen dagegen bereits zu größeren Leistungsverlusten gegenüber der Zunahme des spezifischen Kraftstoffverbrauchs. Am gleichen Traktor führt die Undichtheit eines Druckventils zu Leistungsverlust von 3,5 bis 4 %, bei Undichtheit zweier Druckventile schon zu 11 %. Die Überprüfung des Druckverlaufs machte auch darauf aufmerksam, daß oft Düsen und Druckventile vorzeitig gewechselt werden. Eine Düse, die unter statischen Bedingungen nicht sehr gut funktioniert, kann während des Leerlauf-

betriebs, d. h. unter dynamischen Verhältnissen, richtig zerstäuben und einen günstigen Spritzkegel aufweisen. Im Druckverlauf werden diese Düsen keine Veränderungen gegenüber dem typspezifischen Druckverlauf verursachen. Somit sind nur die Düsen auszutauschen, die Abweichungen des Druckverlaufs verursachen. Aufgrund dieser Prüfungen kann anhand des Druckverlaufs die Nutzungsdauer der Düsen und der Druckventile oft verlängert werden.

Der Verschleiß der Pumpenelemente bzw. deren falsche Einstellung führt dazu, daß nicht in alle Verbrennungsräume Kraftstoff gelangt. Bei unterer Leerlaufdrehzahl des Motors wird so wenig Kraftstoff in die Druckleitung gefördert, daß der Öffnungsdruck nicht erreicht werden kann. In diesem Fall besteht die Kennlinie des Druckverlaufs aus einem steigenden und einem fallenden Teil (Bild 10).

4. Zusammenfassung

Die Prüfung des Druckverlaufs im Kraftstoffsystem von Dieselmotoren wird im Leerlaufbetrieb durchgeführt und erfordert keine Belastung. Mit dieser Methode können die Einstellwerte des Einspritzsystems bestimmt und Undichtheiten an der Form der Kennlinie erkannt werden. Aus der Zeitdauer der Ein-

spritzung jedes Zylinders kann auf die Gleichförderung in den vorgegebenen Grenzen geschlossen werden. Ebenso ist durch Vergleich des Förderbeginns der Einspritzsysteme untereinander der Förderversatz bestimmbar.

Die Prüfung des Kraftstoffdruckverlaufs gestattet deshalb eine größere Information über die Einspritzsysteme und ein besseres Erkennen von Fehlern in diesen. Dadurch wird eine Verbesserung des technischen Zustands der Dieselmotoren und eine Minderung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs erreicht. Voraussetzung für die Anwendung dieser Methode an den unterschiedlichen Dieselmotoren ist die Kenntnis des typspezifischen Druckverlaufs unter bestimmten Prüfbedingungen, der Art der Beeinflussung des Kurvenverlaufs durch Fehler und Schäden im Einspritzsystem sowie die exakte Einhaltung der Prüfbedingungen bei der Erfassung des Druckverlaufs.

Literatur

- [1] Petak, A.: Ein universelles Diagnosegerät für Verbrennungsmotoren. agrartechnik, Berlin 31 (1981) 6, S. 257–258.
- [2] Boör, F.: Eine neue Methode zur Überprüfung des technischen Zustands des Kraftstoffsystems von Dieselmotoren. agrartechnik, Berlin 31 (1981) 6, S. 249–251. A 4169

Methoden der verbesserten Zuverlässigkeitsarbeit bei spezialisiert instand gesetzten Baugruppen der Landtechnik

Dipl.-Ing. W. Schulz, KDT, VEB Kombinat Landtechnische Instandsetzung, Stammbetrieb

1. Zielstellung

An die Betriebe des VEB Kombinat Landtechnische Instandsetzung (LTI) wird die Aufgabe gestellt, einen spürbaren Beitrag zur Senkung der Instandsetzungskosten und zur Erhöhung der Einsatzfähigkeit der Landtechnik zu leisten [1]. Beide Forderungen können durch eine zielgerichtete Entwicklung der Instandsetzungsqualität, d. h. Erhöhung der effektiven Lebensdauer instand gesetzter Baugruppen, realisiert werden.

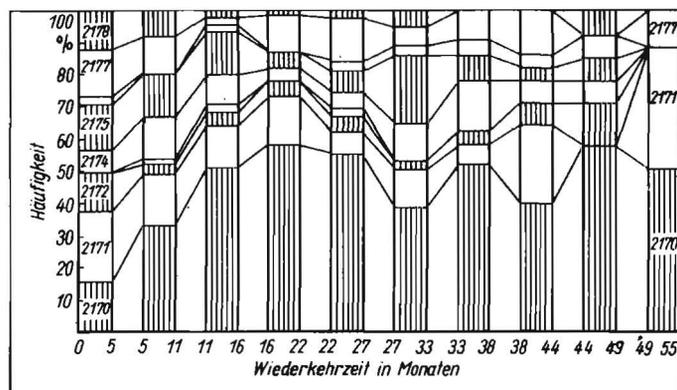
Mit den gegenwärtig genutzten Kennzahlen zur Bewertung der Instandsetzungsqualität, wie Reklamationsquote, Fehlerkosten und mittlere Wiederkehrzeit, kann eine Schwachstellenforschung in der Zuverlässigkeit der instand gesetzten Baugruppen nur sehr unzureichend durchgeführt werden, besonders deshalb, weil ein Vergleich der effektiven Lebensdauer mit fabrikanneuen Baugruppen nur bedingt durchgeführt werden kann, aber auch weil sich der untersuchte Zeitraum nur über die ersten sechs Monate der Betriebsdauer erstreckt (Bild 1).

Es ist darum eine zwingende Notwendigkeit, zumindest für Schwerpunktpositionen des VEB Kombinat LTI einen Weg zur verbesserten Bewertung der Zuverlässigkeit instand gesetzter Baugruppen zu finden.

2. Optimierte Auswahl eines Systemelements zur Qualitätserhöhung

Zur Erhöhung der Qualität (hier effektive Lebensdauer bis zur Grundüberholung) gibt es eine Vielzahl von möglichen Verfahrensweisen. Ein sehr hoher Aufwand wäre erforderlich, wenn die Qualität aller Elemente eines Systems verbessert werden würde. Ausgehend von Michlin [2] kann unter der Voraussetzung, daß keine zusätzlichen Kosten zur Verbesserung der Qualität erforderlich sind, mit der Minimierung der lebensdauerbezogenen Kosten für eine Grundüberholung eine grundsätzliche Bestimmung der Schwerpunkte vorgenommen werden. Für bestimmte Baugruppen des Traktors ZT 300 wurde in Tafel 1 die optimale Reihenfolge zur Erhöhung der Instandsetzungsqualität ermittelt.

Bild 1. Prozentuale Zusammensetzung der Ausfallursachen (verschlüsselt angegeben) je Wiederkehrzeitklasse für die Wasserpumpe des Motors 4 VD (Traktor ZT) mit Lüfterschaltkupplung



Tafel 1. Optimale Reihenfolge zur Erhöhung der Instandsetzungsqualität des Traktors ZT 300

Baugruppe	Grundüberholungen je Jahr	Kosten der Grundüberholung M	Gesamtkosten M	Reihenfolge
Motor 4VD...	0,42	3 420,00	1 436,40	1
Einspritzpumpe 4BS...	0,58	491,00	284,78	2
Luftverdichter HS...	0,90	164,30	147,87	4
Wasserpumpe mit Lüfterschaltkupplung	0,48	72,08	34,60	6
Anlasser 8203	1,18	113,00	133,34	5
Drehstromlichtmaschine 12/500	0,99	279,00	276,21	3