

## 1. Aufgabenstellung

### 1.1. Allgemeines

Die Funktion und Einhaltung der technischen Daten der Dieselmotoren sind stark von den Einstellwerten und dem Abnutzungszustand der Einspritzanlage abhängig. Die Bauteile, die für eine Beeinflussung in Frage kommen, sind Einspritzdüsen (ED), Druckventile (DV) und Elemente (EI). Vom Grad ihrer Verstellung und von ihrem Abnutzungszustand sind die dem Motor zur Verfügung stehende Fördermenge (FM) sowie die Ökonomie des Betriebes abhängig.

Es ist eine Stichprobe der zur Instandsetzung angelieferten Düsen SD 1 ZD 12 (Motortyp 4 KVD 8), SE 170-66-1 (4 VD 14,5/12-1 SRW) und IG 4  $\times$  0,275 (D 103) sowie der Einspritzpumpen der Typen DFPS 2 KS 4 (4 KVD 8), DEP 4 B (4 VD 14,5) und U 24-4-8  $\times$  10 (D 103) hinsichtlich ihrer Verstellungen und des Abnutzungszustands zu untersuchen [1].

### 1.2. Prüfdaten

Die Ermittlung des Düsenabspritzdrucks und des Abspritzbilds erfolgt mit Düsenprüfgerät K 4003 nach TGL 12384, Bl. 2. Die Düsen werden im Anlieferungszustand mit alten Düsenhalter geprüft. An Einspritzpumpen (EP) ist die Abweichung der Istfördermenge von dem Sollwert festzustellen. Als Bezugsbasis für die Einstellung und Prüfung gelten die Einstellwerte laut Prüfvorschrift der Herstellerbetriebe.

### 1.3. Versuchsdurchführung der Fördermengenmessung

Die Versuchsdurchführung hat laut TGL 12 378, Bl. 2, auf dem Einspritzpumpenprüfstand MD-12 zu erfolgen.

Zu ermitteln sind die

- Fördermenge der alten EP mit alten DV im Anlieferungszustand

\* Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal der VVB Landtechnische Instandsetzung Berlin

- Fördermenge der alten EP mit neuen DV
- Fördermenge einer Prüfpumpe, bestückt mit den alten DV.

### 1.4. Annahme

- Die Differenzfördermenge zwischen alter EP mit alten DV und alter EP mit neuen DV sowie zwischen Sollwert und Istwert (d. h. mit alten DV) der Prüfpumpe ergeben den Einfluß der Abnutzung der Druckventile
- Die Differenzfördermenge zwischen alter EP mit neuen DV und dem mittleren Sollwert der Einstellung (aus dem Landtechnischen Instandsetzungswerk) ergibt den Einfluß der Elementeabnutzung, wenn der Fahrzeughalter die Einspritzpumpe nicht verstellt hat.

## 2. Analyse der Verstellungen

Sehr häufig war eine Erhöhung der Fördermenge und Abregeldrehzahlen zu verzeichnen.

Einbezogen wurden in die Untersuchung

- 42 Stück Einspritzpumpen DEP 4 B, das entspricht 168 Fördereinheiten
- 84 Stück Einsteckpumpen DFPS 2 K S 4, das entspricht 168 Fördereinheiten
- 39 Stück Einspritzpumpen U 24-4-8  $\times$  10 gleich 156 Fördereinheiten.

Während an den schwer zugänglichen Einsteckpumpen keine Verstellungen festzustellen waren, ließen sich an den außen angebauten Einspritzpumpen in der Regel Verstellungen nachweisen. Die Nutzer wollten höhere Leistungen erzielen, indem sie die Abregelung und die Gesamtfördermenge veränderten. Diese Veränderungen sind jedoch die Ursache für das Fahren an der Rauchgrenze (Verstoß gegen die zulässigen Rauchdichtewerte lt. TGL 22 984, Bl. 5 und das Landeskulturgesetz, Gesetzblatt Teil 1 Nr. 12/1970), für die Überbelastung des Kurbeltriebes der Dieselmotoren, den erhöhten Kraftstoffverbrauch ohne vollständige Energieausnutzung (ökonomisches Kriterium) und führten wiederholt zu Havarieschäden am Motor und damit zu erhöhten Instandsetzungskosten.

(Schluß von S. 565)

- Ungleichmäßigkeiten der Lagergeometrie durch wiederholte Montage und Demontage beim Lagerschalenwechsel
- Änderung des Betriebslagerspiels infolge Änderung der Betriebstemperatur während einer Versuchsserie.

Die aus der Vorstellung zu erwartende Vergrößerung der Pleuellängskraft infolge von Stößen zwischen Pleuelzapfen und Pleuel in den Totlagen tritt offenbar wegen der Dämpfungswirkung des Ölfilms nicht auf.

Es bleibt zu untersuchen, welche Dauerauswirkungen die Oberschwingungen der Pleulkräfte insbesondere auf das Verschleißverhalten der Lager haben.

## Literatur

- 1) Adamovič, A. V. u. a.: Issledovanie silovych nagruzok v krivoshipnošatnom mehanizme traktornych dvigatelej D37M i D50 (Untersuchung der Kraftbelastungen im Schubkurbelgetriebe der Traktorenmotoren D37M und D50). Traktory i sel'chozmašiny (1967) H. 6, S. 7-9
- 2) Kerčar, B. M. u. a.: Issledovanie zazora meždu poršnem i gil'zoi cilindra dvigatelja (Untersuchung des Spiels zwischen Pleuel und Pleuelbuchse des Motors). Traktory i sel'chozmašiny (1970) H. 11, S. 13
- 3) Schulze, G.: Drahtgebundene Meßwertübertragung. Dieselmotoren-nachrichten (1972) H. 1, S. 35-39. A 9262

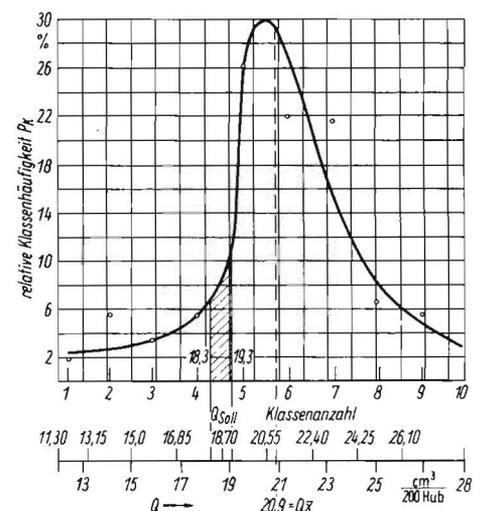


Bild 1. Relative Klassenhäufigkeit der Fördermengen bei der Einspritzpumpe DEP 4 B;  $n_p = 925$  U/min, Regelstangenweg  $R = 12$  mm, Bestückung: alte EP mit alten DV

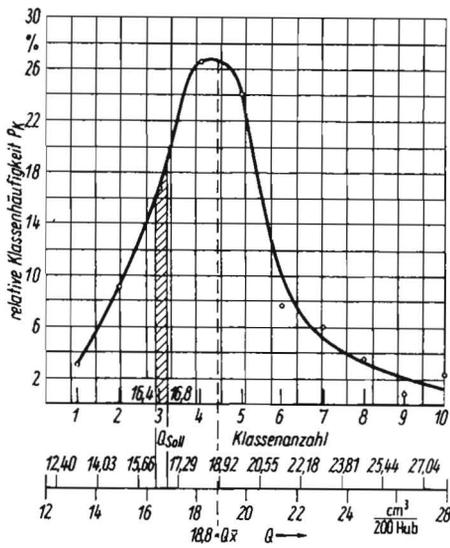


Bild 2. Relative Klassenhäufigkeit der Fördermengen bei der Einspritzpumpe U 24 4 - 8 x 10;  $n_p = 600$  U/min. Vollastanschlag. Bestückung: alte EP mit alten DV

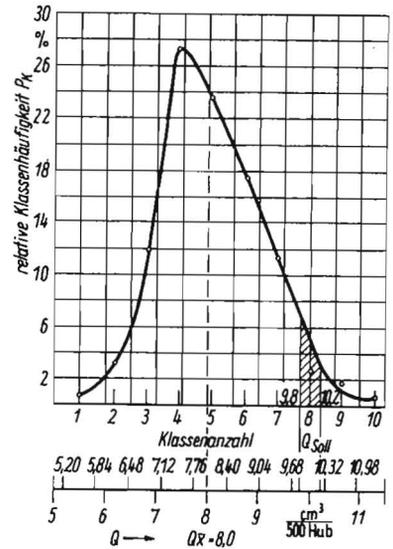


Bild 3. Relative Klassenhäufigkeit der Fördermengen bei der Einspritzpumpe DFPS 2K S4;  $n_p = 1500$  U/min. Regelstangenweg  $R = 8,5$  mm. Bestückung: alte EP mit alten DV

### 2.1. Verstellung der Abregelung

Die Verstellung erfolgt durch Veränderung des Regleranschlags für den Bedien- oder Reglerhebel.

DEP 4 B (Motortyp 4 VD 14,5/Traktor ZT 300)

Sollwerte: Abregelbeginn 950 U/min, Abregelende 1000 U/min  
Istwerte: Im Durchschnitt lagen die Abregeldrehzahlen um 50 U/min zu hoch. Bei drei EP war das Abregelende nicht feststellbar.

U 24-4-8 x 10 (D 103 U 650)

Sollwerte: Abregelbeginn 930 U/min, Abregelende 1000 U/min  
Istwerte: Im Durchschnitt lagen die Abregeldrehzahlen um 30 U/min höher. An vier EP ließ sich das Ende der Abregelung nicht feststellen. Bei 72 Prozent der EP lag der Beginn der Abregelung zu niedrig.

### 2.2. Verstellung der Fördermenge

Die Verstellung erfolgt durch Veränderung des Vollastanschlags im Reglergehäuse. Die Klemmstücke werden in der Regel nicht verstellt.

DEP 4 B

Sollwert: Fördermenge von 18,3 bis 19,1  $\text{cm}^3/200$  Hub bei 925 U/min

Istwerte: Im Durchschnitt lag die Fördermenge bei 20,9  $\text{cm}^3/200$  Hub und damit 2,2  $\text{cm}^3/200$  Hub über der mittleren Sollfördermenge. Bei 75,7 Prozent der EP betrug die Fördermenge mehr als 19,1  $\text{cm}^3/200$  Hub.

Die gemessene Maximalfördermenge lag bei 29,8  $\text{cm}^3/200$  Hub. Die in Bild 1 dargestellte Häufigkeitsverteilung der Fördermengenwerte zeigt eine deutliche Verschiebung zu erhöhten Fördermengen.

U 24-4-8 x 10

Sollwert: Sollfördermenge von 16,4 bis 16,8  $\text{cm}^3/200$  Hub bei 600 U/min

Istwerte: Im Durchschnitt ergaben sich 18,8  $\text{cm}^3/200$  Hub und damit eine um 2,2  $\text{cm}^3/200$  Hub über dem mittleren Sollwert liegende Fördermenge.

72,6 Prozent der Werte lagen über 16,6  $\text{cm}^3/200$  Hub. Die gemessene Maximalfördermenge betrug 28,6  $\text{cm}^3/200$  Hub. Bild 2 zeigt die relative Klassenhäufigkeit der Fördermengenwerte. Der überwiegende Teil der Fördereinheiten weist Fördermengen zwischen 17 und 21  $\text{cm}^3/200$  Hub auf.

### 2.3. Sonstige Mängel und Schäden

Die augenscheinliche Kontrolle ergab:

- Beschädigungen an fast allen Plombierungen
- an rund 8 Prozent der Regler Fehlteile (insbesondere Zugfedern)
- zwei Reglerschäden (5 Prozent), ein Druckventilfederbruch und ein Kolbenfederbruch an der DEP 4 B
- fünf Reglerschäden (13 Prozent) an der U 24-4-8 x 10.

### 2.4. Schlußfolgerungen

Durch den Fahrzeughalter wurden in der Regel an den Einspritzpumpen DEP 4 B und U 24-4-8 x 10 Verstellungen zu höheren Abregeldrehzahlen und Fördermengen vorgenommen. Die sich dadurch ergebenden Istwerte liegen im Mittel trotz abnutzungsbedingten Fördermengenabfalls über dem Sollwert laut Prüfvorschrift. Lediglich die schwer zugänglichen Einsteckpumpen des Typs DFPS 2 K S 4 wurden nicht verstellt (Bild 3).

Die derzeitige Art der Plombierung garantiert keinen Schutz gegen Verstellungen an Einspritzpumpen. Es fehlen gesetzliche Bestimmungen, die die Beschädigung von Plomben ahnden und somit Verstellungen und sich ergebende volkswirtschaftliche Verluste wirkungsvoll verhindern.

## 3. Ermittlung des Abnutzungszustands

Die Untersuchungen bestätigten die Annahme, daß infolge der Abnutzung der Einspritzdüsen ein Abfall des Düsenabspritzdrucks und mit der Abnutzung der Einspritzpumpenelemente und -druckventile ein Abfall der Fördermenge verbunden ist.

### 3.1. Düsenöffnungsdruck

Statistisch gesicherte Aussagen sind nur für den Düsentyp SD 1 ZD 12 (Motortyp 4 KVD 8) möglich (Anzahl 66 Stück). Die Anzahl der untersuchten Einspritzdüsen SE 170-66-1 (Motortyp 4 VD 14,5/12 - 1 SRW) und IG 4 x 0,275 (Motortyp D 103) war zu gering, um eine allgemeingültige Aussage zu treffen. Der Düsenöffnungsdruck lag aber bei beiden Typen unter dem vorgeschriebenen Sollwert.

#### 3.1.1. Düsenabspritzdruck der Düse SD 1 ZD 12

Sollwert: 120 ... 130  $\text{kp}/\text{cm}^2$

Istwerte: Der maximale Öffnungsdruck betrug 160  $\text{kp}/\text{cm}^2$  und der minimale 60  $\text{kp}/\text{cm}^2$ .

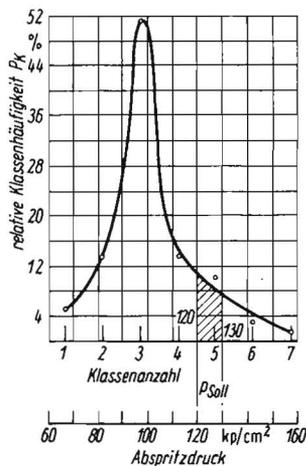


Bild 4. Relative Klassenhäufigkeit des Düsenabspritzdruckes: Düsentyp SD 1 ZD 12, Motortyp 4 KYD 8

Bild 4 zeigt die Verteilung der Düsenabspritzdrücke, aus der eindeutig hervorgeht, daß der überwiegende Anteil (88,5 Prozent) unter dem Sollwert liegt.

An 41 Prozent der Einspritzdüsen wurde eine gute Zerstäubung und ein plötzliches Abspritzen des Dieselmotorkraftstoffes unter deutlichem Schnarrgeräusch festgestellt. Bei den übrigen Düsen trat Strahlen und Tropfen auf.

### 3.1.2. Schlußfolgerungen

Ein großer Teil der in die Instandsetzung gelangenden Einspritzdüsen ist ohne Nacharbeit wiederverwendungsfähig. Im Fall der Düse SD 1 ZD 12 wären nach Einstellung des Düsenöffnungsdruckes 41 Prozent wieder funktionstüchtig gewesen.

## 3.2. Abfall der Fördermenge

Die Untersuchung zeigte, daß mit der Nutzungsdauer die Fördermenge infolge Abnutzung der Elemente und Druckventile abfällt. Besonders deutlich ergibt sich diese Tendenz bei den Einsteckpumpen des Typs DFPS 2 KS (Stichprobe 84 Stück).

### 3.2.1. DFPS 2 KS 4

Die im Bild 3 dargestellte Verteilung der Fördermengen zeigt gegenüber der Sollfördermenge eine deutliche Verschiebung zu geringeren Fördermengen. Die durchschnittlich auf dem Einspritzpumpenprüfstand ermittelten Werte betragen  $8,0 \text{ cm}^3/500 \text{ Hub}$ . Damit liegt dieser Wert um  $2,0 \text{ cm}^3/500 \text{ Hub}$  tiefer als die mittlere Sollfördermenge ( $10 \text{ cm}^3/500 \text{ Hub}$ ). Setzt man voraus, daß bei diesen Pumpen infolge der Unzugänglichkeit keine Verstellungen vorgenommen werden, so ist der Fördermengenabfall größtenteils auf die Abnutzung der Elemente und Druckventile zurückzuführen. Das gleiche Ergebnis erhält man aus der Auswertung der Differenzfördermenge, bei der der Einfluß durch die Abnutzung der Elemente und Druckventile getrennt ausgewiesen wird. Durch den Versuch, der bei Einbau der neuen DV eine durchschnittliche Fördermenge von  $8,55 \text{ cm}^3/500 \text{ Hub}$  und bei der Verwendung der alten DV  $8,0 \text{ cm}^3/500 \text{ Hub}$  ergab, wurde die Annahme bestätigt, daß die alten DV einen verschleißbedingten Fördermengenabfall ( $-0,55 \text{ cm}^3/500 \text{ Hub}$ ) aufweisen.

Der Fördermengenabfall bei Verwendung alter Druckventile ist auf Undichtigkeit zurückzuführen, die sich mit der Abnutzung des Kegelsitzes und der Verringerung der Federkonstante der Druckventilfedern einstellen. An Druckventilfedern ließen sich z. B. Längenverkürzungen bis zu 1 mm feststellen.

Die Differenz zwischen den Fördermengen der alten Pumpe mit neuen DV und der mittleren Sollfördermenge von  $10 \text{ cm}^3/500 \text{ Hub}$ , die dem Fördermengenabfall infolge Abnutzung der Elemente entspricht, zeigt einen deutlichen Fördermengenabfall an den Einspritzpumpen, der im Mittel  $-1,45 \text{ cm}^3/500 \text{ Hub}$  betrug.

Damit besteht annähernde Übereinstimmung zwischen dem mittleren Fördermengenabfall (von  $-2,0 \text{ cm}^3/500 \text{ Hub}$ ) an der alten EP (entspricht Bild 3) und der Summe der durchschnittlichen Differenzfördermengen infolge Abnutzung der DV ( $-0,55 \text{ cm}^3/500 \text{ Hub}$ ) und Elemente ( $-1,45 \text{ cm}^3/500 \text{ Hub}$ ).

### 3.2.2. DEP 4 B

Die mittlere Differenzfördermenge (bedingt durch DV-Verschleiß), die  $+0,06 \text{ cm}^3/200 \text{ Hub}$  ausmachte, deutet auf die Tendenz hin, daß viele EP unverschlissen in die Instandsetzung gelangen. Bedingt ist dieses durch die Generalreparatur von Dieselmotoren, an denen ein zwischenzeitlicher EP-Wechsel vorgenommen wurde. Der maximale Fördermengenabfall betrug  $2,5 \text{ cm}^3/200 \text{ Hub}$ . Bei 42,2 Prozent der Werte der Differenzfördermengen (FM-Abfall infolge DV-Verschleiß) war ein Pendeln um den Nullpunkt (Klassenbreite  $0,32 \text{ bis } 0,37 \text{ cm}^3/200 \text{ Hub}$ ) festzustellen.

An 24 Prozent der Fördereinheiten ließ sich ein verschleißbedingter Fördermengenabfall nachweisen.

### 3.2.3. U 24 — 4 — 8 × 10

An dieser EP war ebenso wie bei der vorher beschriebenen (3.2.2.) im Mittel nicht ein Abfall, sondern eine Erhöhung der Differenzfördermenge auf  $+0,2 \text{ cm}^3/200 \text{ Hub}$  feststellbar, was wiederum die Annahme bestätigt, daß durch wiederholten EP-Tausch unverschlissene Baugruppen in die Instandsetzung gelangen. Darauf deuten auch 38 Prozent der Fördereinheiten hin, deren Differenzfördermenge um den Nullpunkt (Klassenbreite  $-0,46 \text{ bis } 0,22$ ) lag. Trotz dieser im Mittel erhöhten Differenzfördermenge war an 25 Prozent der Fördereinheiten ein Abfall der Differenzfördermenge zu verzeichnen. Der maximale FM-Abfall betrug  $4,1 \text{ cm}^3/200 \text{ Hub}$ .

### 3.2.4. Schlußfolgerungen

An den untersuchten Einspritzpumpen ist mehr (DFPS 2 KS 4) oder weniger (DEP 4 B und U 24 — 4 — 8 × 10) ein abnutzungsbedingter Fördermengenabfall nachweisbar. Er trat an 80 Prozent der Einsteckpumpen und an 25 Prozent der außen angebauten Einspritzpumpen auf. Es ist nicht vertretbar, daß die durch wiederholten EP-Tausch unverschlissen in die Instandsetzung gelangenden Einspritzpumpen dort vollständig demontiert werden. Hier wäre bei einem Nutzungsdauernachweis durch den Fahrzeughalter eine Vorprüfung mit Neueinstellung möglich.

## 4. Ökonomische Betrachtungen

Die Häufigkeitsverteilungen der Fördermengen für die Einspritzpumpen DEP 4 B (Bild 1) und U 24 — 4 — 8 × 10 (Bild 2) zeigen eine deutliche Verschiebung zu höheren Fördermengen, die sich durch Verstellung der Einspritzpumpen ergeben. Ein derartiger Mehrverbrauch an Dieselmotorkraftstoff (bei unvollständiger Verbrennung) ist volkswirtschaftlich nicht vertretbar, führt zur Abgasbelastung, zu Havarienschäden infolge Überbelastung und zu erhöhten Instandsetzungskosten. Es liegt ein eindeutiger Verstoß gegen das Landeskulturgesetz (GBl. Teil I Nr. 12/1970) und die zulässigen Rauchdichtewerte (TGL 22 984 Bl. 5 Abgasprüfung, verbindlich ab 1. 4. 1971) vor.

## Literatur

1. Stibbe, J. W. Lau: Ermittlung von technisch-ökonomisch begründeten Schadensgrenzwerten der Zylinder-Kolbengruppe für Fahrzeug-Viertakt-Dieselmotoren. Zwischenbericht des PVB Charlottenthal (1971) A 9248