

Einige Ergebnisse von DK-Verbrauchsmessungen am Traktor ZT 300-C

Dipl.-Ing. A. Mettke/Dipl.-Ing. oec. E. Haase, KDT/Dipl.-Ing. H. Schulz, KDT
Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion

Da die sozialistische Landwirtschaft einer der größten Verbraucher von Rohöl, vor allem von Dieselmotorkraftstoff, in der DDR ist, gewinnt die Ausnutzung aller Möglichkeiten des sparsamen Kraftstoffeinsatzes zunehmend an Bedeutung. In jüngster Zeit werden deshalb verfügbare Kraftstoffverbrauchsmeßgeräte eingesetzt, um die Probleme der sinnvollen Kraftstoffverwendung und der Kraftstoffnormierung zu lösen. An der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg wurde im Jahr 1980 mit Tastversuchen für praktische DK-Verbrauchsmessungen am Traktor ZT 300-C begonnen. Dafür wurde ein Kraftstoffverbrauchsmeßgerät verwendet, das im Bereich des Kraftverkehrs entwickelt wurde.

Das Ziel der Messungen bestand darin, neben den bekannten Energieanalysen von Fahrzeugen eine Wichtung der Einflußgrößen auf den Kraftstoffverbrauch zu finden und ggf. daraus Vorschläge für weitere Untersuchungen zu entwickeln und Nutzungsvorschläge für den praktischen Einsatz abzuleiten.

1. Ursachen und Einflüsse auf den DK-Verbrauch

Die Höhe des DK-Verbrauchs ergibt sich zunächst aus der Konstruktion und Einstellung sowie Abnutzung der Baugruppen Motor, Leistungsübertragung (Getriebe) und Fahrwerk sowie aus der auszuführenden Arbeit, ausgedrückt durch die in Anspruch genommene Leistung. Diese Leistung kann, ausgedrückt durch den Motorauslastungsgrad, in Abhängigkeit von Gang- und Drehzahlwahl entscheidenden Einfluß auf den Kraftstoffverbrauch haben [1, 2]. Um die Kraftstoffverluste zu senken, sind u. a. folgende Regeln zu beachten:

- Senken der Motoreigenverluste, der Verluste der Leistungsübertragung (vom Motor zum Fahrwerk) und der Fahrwerksverluste durch
 - richtige Pflege und Wartung umfassend für Fahrzeuge und Landmaschinen
 - zweckmäßige Aggregatbildung
 - Sichern der Leistungsanforderung durch mittlere Drehzahl- und hohe Drehmomentanforderung des Motors, was durch entsprechend hohe Gangwahl zu realisieren ist, zumal die agrotechnisch

optimalen Arbeitsgeschwindigkeiten und die möglichen Aggregatbildungen die Leistungsanforderung bestimmen

- Senken der vermeidbaren Eigenverluste an Landmaschinen, besonders durch guten Zustand und richtige Einstellung der Arbeitselemente
- Einsatz von Maschinen-Traktoren-Aggregaten unter zumutbaren agrotechnischen und technischen Bedingungen.

2. Erste DK-Verbrauchsmessungen

Die Kraftstoffverbrauchsmessungen wurden mit Entwicklungsmustern von Kraftstoffverbrauchsmeßgeräten des Ingenieurbüros für Rationalisierung des Kraftverkehrs Dresden durchgeführt [3]. Zum Sichern der Serienausführung des Geräts wurde hinsichtlich Dauererprobung, Kalibrierung u. a. im Rahmen sozialistischer Zusammenarbeit ein Beitrag der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg geleistet [4].

Das Kraftstoffverbrauchsmeßgerät ist mit einer bestimmten Schaltung im Kraftstoffsystem angeordnet, arbeitet nach dem Turbinendurchflußprinzip und zeigt digital den absoluten und momentanen Kraftstoffverbrauch an, wobei mit der Momentanzeige Durchflußstendenzen angegeben werden. Durch das Turbinenrad werden drehzahlproportionale Impulse erzeugt, die einer Auswert- und Anzeigeeinheit zugeleitet werden. Ein Beruhigungssystem (Druckgasspeicherprinzip) kompensiert die Druckpulsation von Förderpumpe und Einspritzpumpe (Bild 1) [3]. Die Auswahl der Verbrauchsmessungen wurde

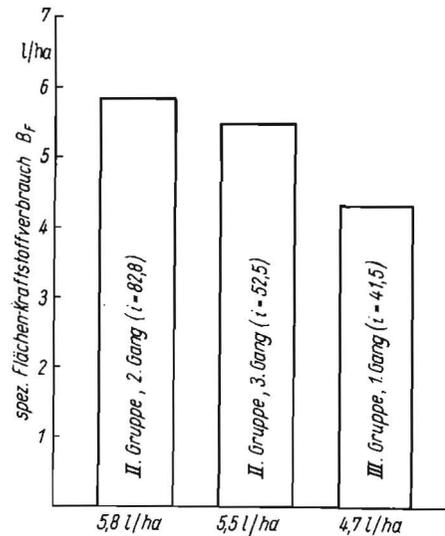


Bild 4. Spezifischer Kraftstoffverbrauch je Hektar beim Grubbern in Abhängigkeit von der Gangwahl (n = 1800 U/min = const.)

auf die Verbrauchsgrößen konzentriert, die besonders von einem Mechanisator schnell und leicht beeinflußt werden können. Die Versuche wurden so durchgeführt, daß technische Versuchsbedingungen hinsichtlich Bodenart, -feuchte und -relief ausgewählt und die Parameter Zugkraft F_Z und Schlupf $\sigma = (F_Z)$, Reifeninnendruck u. a. erfaßt wurden. Damit gelten die Ergebnisse für eine bestimmte Bodenart und für bestimmte Bodenverhältnisse. Das Versuchsfahrzeug wurde aus versuchs-technischen Gründen mit der Motordrehzahl n = 1800 U/min betrieben, obwohl das bekannterweise für motortechnisch ökonomische Bedingungen nicht der optimale Bereich ist. Trotzdem wurden hierbei für bestimmte Einsatzfälle energetisch brauchbare Einsatzgrenzen und Verbrauchstendenzen ermittelt.

Untersucht wurden:

- Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit von unterschiedlichen Zugkraftanforderungen
- Einfluß des Reifeninnendruck unter zuvor genannten Bedingungen

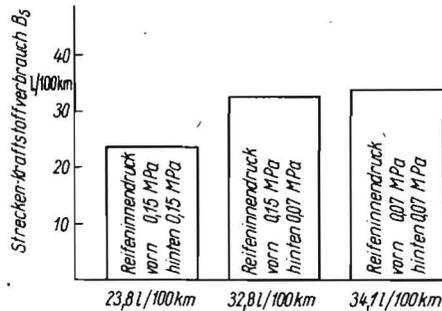


Bild 2
Strecken-Kraftstoffverbrauch des Traktors ZT 300-C in Abhängigkeit vom Reifeninnendruck bei Straßenfahrt (Leerfahrt) mit Anhänger HW 80 (n = 1800 U/min; Getriebeschaltung III. Gruppe, 3. Gang)

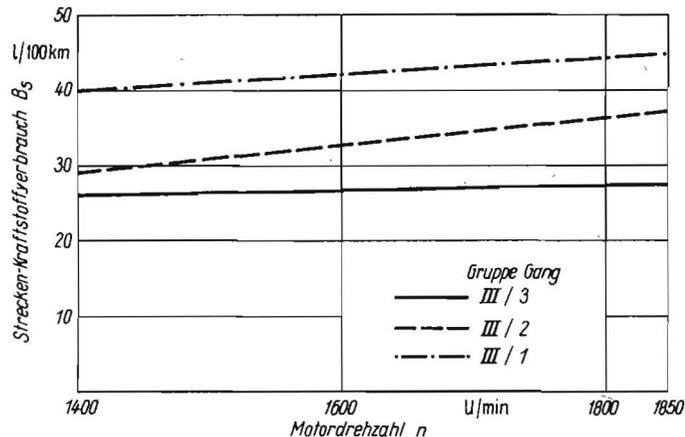
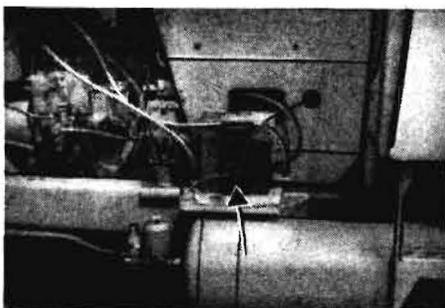


Bild 3
Strecken-Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit von gewählter Gangschaltung und Motordrehzahl (Straßenfahrt)

Bild 1. Impulsgeber (s. Pfeil) und Ausgleichbehälter des Kraftstoffverbrauchsmeßgeräts am Traktor ZT 300-C



- Kraftstoffverbrauch bei der Arbeitsart „Grubbern“
- Kraftstoffverbrauch bei unterschiedlichen Leerlaufdrehzahlen des Motors
- Kraftstoffverbrauch bei Straßenfahrt mit leerem Anhänger bei unterschiedlicher Gangwahl und verschiedenen Reifennennendrücken des Zugfahrzeugs (Bilder 2 und 3).

Die Feldversuche mit dem Grubber B 255 wurden für statistische Auswertungen in ausreichender Anzahl wiederholt. Zunächst ging es besonders um das Erreichen des geringsten Verbrauchs je Hektar, wobei die Produktivität vorerst nicht Gegenstand der Untersuchung war (Bild 4). Für das Durchführen der Versuche wurden die DK-Verbrauchsmeßgeräte unter statischen und dynamischen Bedingungen kalibriert [4] (Bild 5).

Bei der Straßenfahrt konnte nur mit einem unbeladenen Anhänger HW 80 gefahren werden — Einsatzbedingung als Leerfahrt. Variiert wurden bei diesen Versuchen der Reifennennendruck der Räder des Traktors ZT 300-C (s. Bild 2) sowie die Drehzahl des Motors bei unterschiedlicher Gangwahl (s. Bild 3).

Aus den Kalibrierversuchen wurde ermittelt, daß der Fehler der DK-Verbrauchsmessung im Volumenstrombereich von 10,5 bis 28 l/h etwa

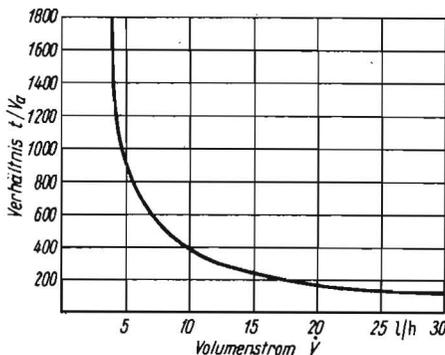


Bild 5. Kalibrierkurve des Kraftstoffverbrauchsmeßgeräts;
 V_a : Anzeigewert des Meßgeräts; t : Durchflußzeit bei der DK-Verbrauchsmessung

$\pm 5\%$ beträgt. Eine relativ gute Beziehung zwischen Prüfstandmeßwerten und praktischen Meßdaten konnte durch die Kalibrierkurve (s. Bild 5) hergestellt werden. Die tatsächlichen Fehler bei den DK-Verbrauchsmessungen sind in [4] angegeben.

3. Zusammenfassung

Die genannten DK-Verbrauchsmessungen waren ein Anfang, um die Ursachen für den DK-Verbrauch objektiver zu erfassen. Diese Messungen sind nur von Wert, wenn dazu die objektiven Einsatzursachen bekannt sind, damit vergleichbare Ergebnisse erzielt werden, die in Verbindung mit dem Bordbuch eines Mechanisators abrechenbar sind und zur Normierung und Stimulierung der sinnvollen DK-Verwendung beitragen.

Literatur

- [1] Schulz, H.: Wirtschaftliches Fahren — Technische Grundlagen. Berlin: transpress VEB Verlag für Verkehrswesen 1980.
- [2] Schulz, H.: Ideologische, bildungsmäßige und technische Probleme bei der Dieseldieseldieselkraftstoffverwendung in der Pflanzenproduktion. Energieanwendung (1980) H. 4, S. 126—129.
- [3] Steuer, D.; Treufeld, E.: Zur Rationalisierungsmittelproduktion vorbereitet: Neuer elektronischer Kraftstoffverbrauchsmesser KVM-1. VESK-Informationen (1978) H. 5, S. 48—57.
- [4] Mettke, A.: Beitrag zur Ermittlung, Wichtung und Normierung des Dieseldieseldieselkraftstoffverbrauchs von selbstfahrenden Transport- und Landmaschinen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1980 (unveröffentlicht).

A 3055

Erwärmungszeit und Kraftstoffverbrauch bei Inbetriebnahme von Dieselmotoren

Dipl.-Ing. D. Hensel, KDT, LPG(P) Ehrenberg, Bezirk Karl-Marx-Stadt
 Dipl.-Ing. H. Schulz, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

1. Vorbemerkung

Beim Anlassen und Betriebsbeginn von Motoren tritt ein erhöhter relativer Kraftstoffverbrauch auf, der bei gleicher Leistungsabforderung gegenüber einem betriebswarmen Motor einen Mehrverbrauch von 50 bis 60% ausmacht [1]. Ähnlich sind die Beziehungen, wenn ein Motor bei geringer Belastung, besonders in kalter Jahreszeit, stark unterkühlt gefahren wird. Solcher Mehrverbrauch deutet darauf hin, daß das Verkürzen oder Vermeiden derartiger Betriebszustände von Motoren zum Senken vermeidbarer Kraftstoffverluste führen kann. Unter Annahme dieser Einsparungsmöglichkeiten wurden im Rahmen von Kraftstoffverbrauchsuntersuchungen an der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg in Verbindung mit dem VEB LIW Neuenhagen einige Faktoren untersucht, bewertet und nach Lösungen einer Verbrauchssenkung für derartige Betriebszustände gesucht [2]. Ziel war es dabei, kürzeste Warmlaufzeiten besonders durch das Nutzen anfallender Wärmeverluste des Motors zu erreichen [1, 3].

2. Motorerwärmung und Energieaufwand

Beim Motorwarmlauf wird ein großer Anteil der bei der Energiewandlung freigesetzten Wärme für das Erwärmen der Bauteile und Betriebsstoffe des Motors auf Betriebstemperatur benötigt. Dabei haben die verschiedenen Bauteile und Betriebsstoffe u. a. an verschiedenen Stellen unterschiedliche Betriebstemperaturen (Tafel 1) [4]. Das heißt, daß nach dem Starten eines kalten Motors eine beträchtliche Energiemenge als nutzbare Arbeit an der Schwungradscheibe nicht zur Verfügung steht. Daran hat das zu erreichende Temperaturniveau der Bauteile und Betriebsstoffe einen

wesentlichen Anteil (Tafel 1). Nicht zuletzt ist dadurch der Kraftstoffverbrauch bei Inbetriebnahme höher als im betriebswarmen Zustand. Für einen Dieselmotor mit einer Betriebsmasse von etwa 600 kg unter Beachtung der unterschiedlichen Bauteile- und Betriebsstofftemperaturen und Umgebungstemperatur sowie des Anteils der Abgaswärme wird ein DK-Verbrauch bei jeder Motorerwärmung von etwa 1,7 bis 2,0 l benötigt. Weitere wesentliche Ur-

Tafel 1. Einige Richtwerte für das Temperaturniveau von Motorbauteilen und Betriebsstoffen

Bauteil/Betriebsstoff ¹⁾	Temperatur °C
Zündkerze	800
Einspritzdüse	650
Auslaßventil	650
Auspuffkrümmer	650
Einlaßventil	400
Kolben, Boden	270
Kolben, hinter 1. Kolbenring	210
Kolbenschaft	150
Zylinderwand	180
Nockenwelle, Kipphebel	160
Ventilsitzring, Auslaß	400
Ventilsitzring, Einlaß	140
Zylinderkopfdichtung	170
Pleuellager, Hauptlager	145
Keilriemen	55
Schwingungsdämpfer	50
Öl und Ölwanne	125
Wasser	87 (max. 118)
Kraftstoff	35

1) Zum Ermitteln des Warmlaufverbrauchs werden die Stoffe gleicher Temperatur unter Beachtung der Massen und der unterschiedlichen spezifischen Wärmen zusammengefaßt

sachen für den höheren Kraftstoffverbrauch sind [5, 6]:

- erhöhte mechanische Reibung zwischen relativ zueinander bewegten Teilen aufgrund erhöhter Schmiermittelviskosität bei geringer Temperatur
- die zum Aufrechterhalten einer stabilen Verbrennung notwendige Gemischbildung im Motor
- die aufgrund der ungenügend erwärmten Zylinderfüllung nicht vollständige Verbrennung der schwer siedenden Anteile des Kraftstoffs
- die aufgrund der erhöhten Schmiermittelviskosität erhöhte Leistung der Ölpumpe und die erhöhten Panschverluste.

Diese Einflußgrößen führen dazu, daß der Kraftstoffverbrauch im kalten Zustand spezifisch höher ist, z. B. auf 1 km Fahrstrecke, als bei betriebswarmem Motor. Ziel muß es somit sein, die Bauteile und Betriebsmittel nach dem Start möglichst schnell, besonders durch Nutzen der sofort nach dem Start in prozentual großer Menge als „Verlust“ auftretenden Abgaswärme, auf Betriebstemperatur zu bringen.

3. Erste Ergebnisse von Inbetriebnahmeversuchen

Durch Tastversuche zur Nutzung der Abgaswärme bei Motorinbetriebnahme wurden die Ergebnisse anderer Untersuchungen bestätigt [1, 2, 3]. An einem Versuchsmotor wurden die Temperaturverläufe der Motorenöl- und Kühlmittelwärmung während Warmlaufphasen ermittelt. Um die Belastungsabhängigkeit dieser Warmlaufverläufe zu erfassen, wurde ein Versuchsprogramm mit mehreren Belastungsstufen erarbeitet. Die unterschiedlichen Belastun-

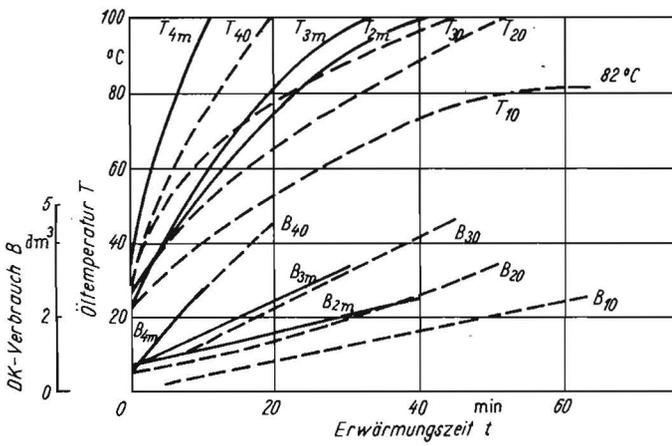


Bild 1. Erwärmungszeit von Motorenöl und Kraftstoffverbrauch bei Nutzung von Abgaswärme zur Ölerwärmung bei Motorinbetriebnahme;

Indizes:

0 ohne Abgas-Öl-Wärmeübertrager

m mit Abgas-Öl-Wärmeübertrager

Belastungen:

- 1: $p_e = 0,15 \text{ MPa}$; $n = 500 \text{ U/min}$ ($P_e = 3,7 \text{ kW}$)
- 2: $p_e = 0,15 \text{ MPa}$; $n = 1000 \text{ U/min}$ ($P_e = 7,3 \text{ kW}$)
- 3: $p_e = 0,37 \text{ MPa}$; $n = 1000 \text{ U/min}$ ($P_e = 18,4 \text{ kW}$)
- 4: $p_e = 0,58 \text{ MPa}$; $n = 1500 \text{ U/min}$ ($P_e = 44 \text{ kW}$)

gen wurden unter Verwendung des Motorkennlinienfelds und des Gangdiagramms des Fahrzeugtyps, in dem der Motor eingebaut wird, festgelegt. Maßgebend waren dabei die Gang- und Motordrehzahlwahl, bei denen jeweils ein minimaler Kraftstoffverbrauch zu erreichen ist. Nachgewiesen wurde, daß beim Warmlaufen von Motoren ohne Belastung (im Leerlauf) die Betriebstemperatur nicht erreicht wird. Festgestellt wurde auch, daß die Zeitspanne vom Kaltstart bis zum Erreichen der Betriebstemperatur eines Motors um so geringer ist, je höher die Belastungsstufe ist (Tafel 2, Bild 1). Bei Anordnung eines Wärmeübertragers, durch den es möglich wird, z. B. die Abgaswärme zum Erwärmen des Öls zu nutzen, im serienmäßigen Schmierölkreislauf (Bild 2) wurden beträchtliche Verkürzungen der Warmlaufzeit und Einsparungen an Kraftstoff nachgewiesen, wobei alle Versuche in mehrmaliger Wiederholung gefahren wurden. Die sich daraus ergebenden Vorteile gelten für den Warmlaufzyklus und darüber hinaus für alle Bereiche, bei denen ein Motor unterkühlt gefahren wird. Wird die Abgaswärme über das Erwärmen des Motorschmieröls oder des Kühlmittels zeitweilig oder bei Bedarf permanent genutzt, so ergeben sich in der Landtechnik und in anderen Wirtschaftsbereichen folgende Vorteile:

- Verkürzen der Warmlaufphase
- Senken des Kraftstoffverbrauchs während des Motorwarmlaufs und bei Motorunterkühlung
- Verringern des gesamten Motorverschleißes
- Reduzieren der Zeit des Ausstoßes von Motorabgasen mit hoher Konzentration schädlicher Anteile
- Verlängern der Motorlebensdauer.

4. Hinweise für den Betrieb von Dieselmotoren

Ziel muß es sein, Motoren in kürzester Zeit auf Betriebstemperatur zu bringen und auf diesem Niveau zu halten. Um ersteres zu erreichen, ist das Warmfahren unumgänglich. Dabei wirkt es sich verbrauchsmäßig günstig aus, die unteren Gänge kurz und wenig und für das Beschleunigen und Fahren die oberen Gänge zu nutzen.

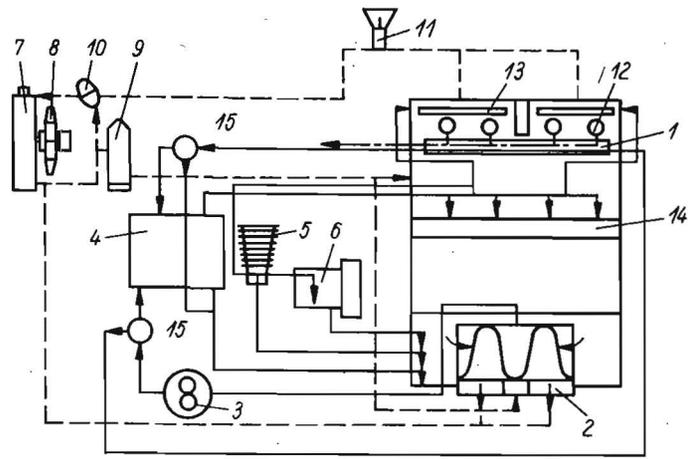


Bild 2. Schema des Kühlmittel- und Schmiermittelkreislaufs sowie der Abgasführung nach [2]; 1 Rohrwärmeübertrager, 2 Evolventenwärmeübertrager, 3 Zahnradschleuse, 4 Ölfilterkombination, 5 Kolbenverdichter, 6 Einspritzpumpe, 7 Wasserkühler, 8 Lüfter, 9 Wasserpumpe, 10 Temperaturregler, 11 Temperaturwächter, 12 Abgasstutzen, 13 Kipphelbelachsen, 14 Kurbelwelle, 15 Dreibegeventil

— Öl; - - - Wasser; - · - - Abgase

Tafel 2. Erwärmungszeiten und Kraftstoffverbrauch bei Inbetriebnahme eines Dieselmotors

Belastungsstufe ¹⁾	ohne Abgas-Öl-Wärmeübertrager				mit Abgas-Öl-Wärmeübertrager			
	1	2	3	4	2	3	4	
Zeit bis zum Erreichen von $T_{Öl} = 100^\circ\text{C}$ in min	—	51	45	19	40	34	11	
Zeit bis zum Erreichen von $T_{Wasser} = 85^\circ\text{C}$ in min	38	—	16	10	—	13	8	
Kraftstoffverbrauch B_e in l für $T_{Öl} = 100^\circ\text{C}$ und $T_{Wasser} = 85^\circ\text{C}$	—	3,4	4,6	4,4	2,5	3,3	2,7	

1) Belastungsstufen s. Bild 1

Für das Verkürzen der Warmlaufzeit im Betrieb und die damit verbundene Senkung des Kraftstoffverbrauchs sind folgende Maßnahmen zu empfehlen:

- Einsatz von vorgeschriebenen Motorenölen unter Beachtung des Einsatzes von Mehrbereichsölen
- Motorbetrieb mit vorgeschriebener Ölfüllmenge
- bei kälterer Temperatur Fahren mit Gelfrierschutzmittel (ohne Frostgefahr)
- beim „kalten“ Start Nutzen von Öлтаuchsiedern und vorgewärmtem Kühlmittel.

Einige dieser empfohlenen Start- und Erwärmungshilfsmittel sind energieaufwendiger als diejenigen, durch die Kraftstoff gespart wird. Sie sollten nur angewendet werden, wenn eine volkswirtschaftliche Notwendigkeit besteht.

5. Zusammenfassung

Ein großer Teil der dem Motor während der Warmlaufzeit zugeführten Energie steht nicht für nutzbare Arbeit zur Verfügung. Es treten im Motor hohe Energieverluste auf. Bei Versuchen mit Dieselmotoren für Güterkraftwagen (GKW) wurde festgestellt, daß das Warmfahren im vierten oder fünften Gang zu einer schnellen Erwärmung des Motors führt.

Mit Hilfe von Abgas-Öl- oder Abgas-Wasser-Wärmeübertragern ist es möglich, einen Motor durch Nutzen der Abgaswärme schneller zu erwärmen. Es sind dabei beträchtliche Ver-

kürzungen der Warmlaufzeit und Kraftstoffeinsparungen möglich. Damit konnte eine bisher wenig genutzte Kraftstoffreserve nachgewiesen werden, wobei empfohlen wird, diese Möglichkeit der DK-Verbrauchssenkung weiter zu untersuchen und eine serienmäßige Verwendung zu überprüfen.

Literatur

- [1] Hofmann, R., u.a.: Verbrauchssenkung durch schnellere Erwärmung des Motors im PKW. Automobil Revue (1979) H.9, S.30—34.
- [2] Hensel, D.: Möglichkeiten zur Senkung des Dieselmotorkraftstoffverbrauchs des Dieselmotors 4 VD 14,5/12-1 SRW durch schnelle Motorerwärmung. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1980 (unveröffentlicht).
- [3] Automotive Engineering (1979) H.6, S.78/79.
- [4] Wiemann, W.; Bartz, W.J.: Viskosität und Fließverhalten von Mehrbereichsölen. MTZ (1978) H.7/8, S.299—302.
- [5] Bolten, P.: Wartung und Pflege des W-50-Motors. Schmierungstechnik 6 (1975) H.6, S.181—185.
- [6] Schulz, H.: Wirtschaftliches Fahren — Technische Grundlagen. Berlin: transpress VEB Verlag für Verkehrswesen 1980.