

Bericht *Untersuchung an einem*
6-Zylinder-Hesselman-Motor im
Fahrbetrieb.

Technischer Prüfstand Op.

Nr. *392.*

Verfasser *Dipl.-Ing. W. Schatzowski in.*
Dipl.-Ing. Laner.
Tag *6. Juli* 19*29.*

I - 111

Gesehen von der Direktion

Zur Kenntnis an:

Empfänger	Ein- gang	Weiter	Unterschrift
29322			

I.G.Farbenindustrie Aktiengesellschaft

Ludwigshafen a.Rhein

Techn. Prüfstand Op 200

Bericht Nr. 392

-0-

B e r i c h t

über

Untersuchungen an einem 6 Zylinder Hesselman-Motor

im Fahrbetrieb.

29323

B e r i c h t

über

Untersuchungen an einem 6 Zylinder Hesselman-Motor
im Fahrbetrieb.Zusammenfassung:

In Ergänzung zu früheren Prüfstandsuntersuchungen an einem Einzylinder-Hesselman-Versuchsmotor über die Leistung, den Wärmeverbrauch, das Klopfverhalten usw. bei verschiedenartigsten Kraftstoffen wurden an einem 6 - Zylinder-Fahrzeugmotor Fahr- und Dauerversuche in Verbindung mit Kraftstoffverbrauchs-Schmierölsverdünnungs- und Geschwindigkeitsmessungen auf der Reichsautobahn, auf der Reichsstraße und im Stadtverkehr durchgeführt.

Die Versuchsergebnisse wurden in Schaubildern zusammengefaßt. Während bei Gasöl und einem Steinkohlennittelöl von Scholven sich nur geringe Unterschiede im Kraftstoffverbrauch ergaben, war der Verbrauch bei Benzin außerordentlich hoch. Versuche mit dem Ziel, den enorm hohen Benzinverbrauch zu senken, hatten nicht den gewünschten Erfolg, da die Einstellung eines ärmeren Kraftstoffluftgemisches sofort Aussetzer und schlechte Beschleunigungsverhältnisse zur Folge hatte.

Bei den Dauerversuchen wurde bei Gasöl eine Schmierölverdünnung von 5,7 %, bei Steinkohlennittelöl von 32,2 % und bei Benzin nur eine solche von 1,9 % festgestellt. Der Einfluß des Siedeverlaufs der untersuchten Kraftstoffe ist also deutlich zu erkennen.

Hinsichtlich Beschleunigung zeigte der Versuchsmotor das bei Fahrzeugmotoren mit Kraftstoffeinspritzung übliche Verhalten, d.h. der Motor nimmt den Kraftstoff augenblicklich an, wodurch eine sofortige Beschleunigung des Fahrzeugs erzielt wird. Die Beschleunigungsmessungen von 30 auf 70 km/h Geschwindigkeit ergaben für Gasöl 21 sec. und für Steinkohlennittelöl 23 sec.

Zu der Frage der Lärm-, Rauch- und Geruchsbelästigungen des Hesselmannmotors ist folgendes zu sagen: Der Hesselmannmotor läuft nicht viel lauter als ein Vergasermotor. Bei nicht einwandfreien Arbeiten der Einspritzdüsen, der Kraftstoffpumpe, der Zündkerzen usw. kann die gleiche üble Rauch- und Geruchsbelästigung eintreten, wie beim Dieselmotor. Diese Belästigung tritt auch dann auf, wenn die Schmierölverdünnung ein bestimmtes Maß überschritten hat.

Die Rückstandsbildung an den Einspritzdüsen und die Verschmutzung der Zündkerzen war im allgemeinen gering und gab nicht zu Störungen Anlaß.

Startschwierigkeiten treten nicht auf, wenn die Einspritzorgane und die Zündanlage in Ordnung waren. Die Einspritzung von Benzin ist allerdings unerlässlich.

Was die Bedienung, beispielsweise das Gangschalten angeht, so unterscheidet sich der Hesselmannmotor kaum von einem gleichstarken Vergaser- bzw. Dieselmotor.

Zweck der Versuche.

In den Versuchsberichten Nr. 328 und 331 des Techn. Prüfstandes Oppau der I.G. Farbenindustrie sind die Ergebnisse von Prüfstandsversuchen an einem Einzylinder Versuchsmotor der Hesselmann-Motor-Corporation zusammengefaßt.

Für eine abschließende Beurteilung des Hesselmannmotors genügten diese Prüfstandsergebnisse jedoch nicht. Um auch Erfahrungen über das Verhalten des Hesselmannmotors im Fahrbetrieb zu sammeln, waren deshalb weitere Versuche an einem in ein Kraftfahrzeug eingebauten Fahrzeugmotor zweckmäßig. Die Untersuchungen hatten den Zweck, vor allem die Fragen des Kraftstoffverbrauchs und der Schmierölverdünnung bei leicht- und schwersiedenden Kraftstoffen im Fahrbetrieb, der Startmöglichkeit, der Betriebsbereitschaft, der Wartung, der Lärm-, Rauch- und Geruchsbelästigung und nicht zuletzt die der Regelung und Bedienung bei Belastungsänderungen (maßgebend für die Fahreigenschaften, die Beschleunigung und Häufigkeit des Schaltens) zu klären.

Versuchsdurchführung:

A) Meßeinrichtung und Versuchsstrecke.

Die technischen Daten des Versuchsmotors sind folgende:

Motornummer: 34748

Zylinderzahl: 6

Kolbenhub: 110 mm

Bohrung: 89 mm ϕ

Leistung 75 PS

Verdichtungsverhältnis: 1 : 5,8

Hubvolumen: 4,1 ltr

Der Motor ist wassergekühlt und ausgerüstet mit Hesselman-Einspritzpumpe Typ AT 25C/VA 60/AS mit angebaitem Luftregler, mit Hesselman-Einspritzdüsen Typ C 1 B und Bosch-Zündkerzen Typ DM 20 S 148.

Der Versuchsmotor war in den Personenwagen Nr. 9 068 der schwedischen Firma Volvo eingebaut. Das Leergewicht des Wagens beträgt 2 040 kg, das Betriebsgewicht, wenn der Wagen mit drei Personen besetzt ist, 2 240 kg. Die Belastung der Vorderachse wurde dabei zu 1 075 kg und die der Hinterachse zu 1 165 kg bestimmt.

Den Versuchsmotor von der Pumpen- und von der Magnetseite zeigt Bild 1 u. 2.



Bild 1.

Die Kraftstoffpumpe, die Zubringerpumpe, das Gehäuse für die Drosselklappe und das Ansaugfilter sind deutlich zu erkennen. Ferner sieht man noch den automatischen Einspritzversteller mit der Antriebswelle für die Einspritzpumpe. Am Pumpenkörper befinden sich die Gehäuse für den Unterdruckkolben des Luftreglers und die elektromagnetische Abschaltung von drei Zylindern (für den

Leerlauf). Die Magnetseite zeigt den Magneten, der zugleich mit dem Verteiler in einem Block vereinigt ist.

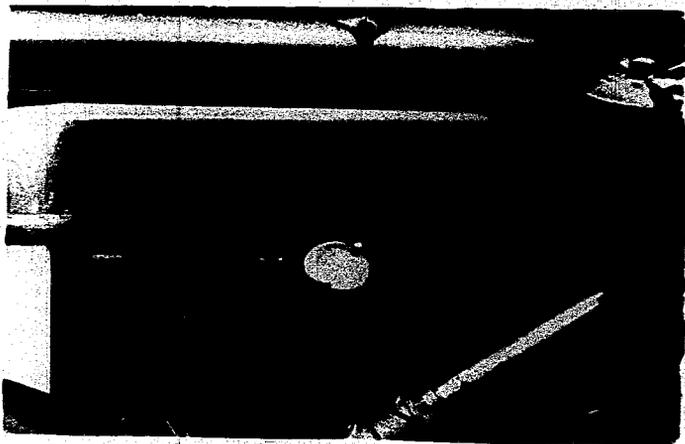


Bild 2.

Die Brennstoffpumpe mit angebautem Unterdruckluftregler ist in Bild 3 im Schnitt wiedergegeben. Deutlich ist der federbelastete Unterdruckfolgekolben mit der Hebelübertragung zur Regulierwelle der Einspritzpumpe zu erkennen.

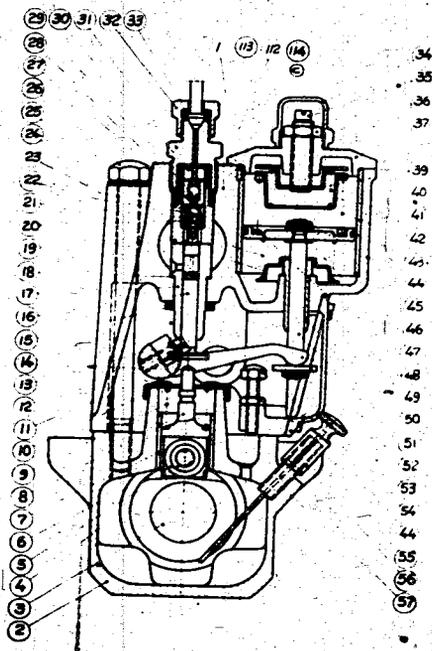
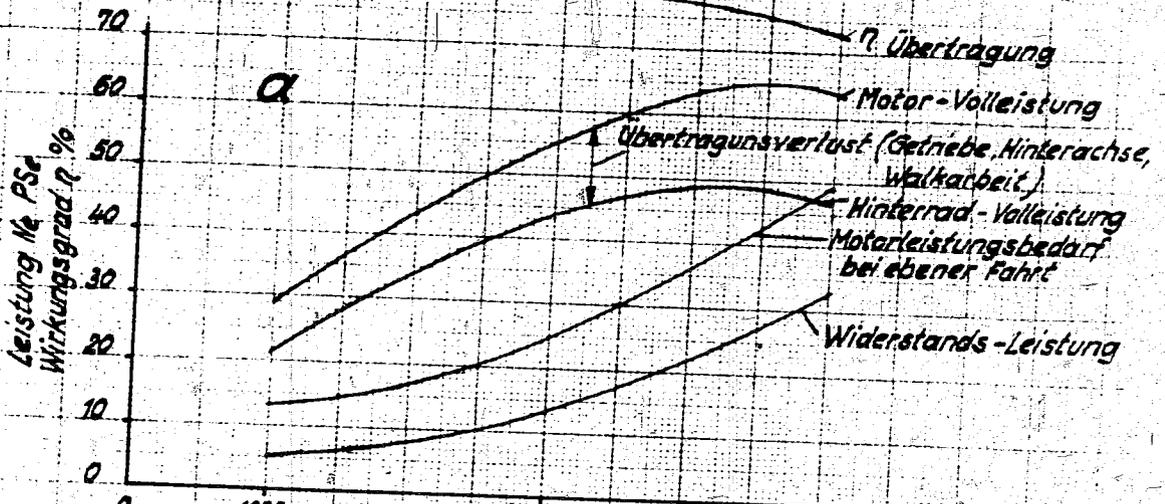
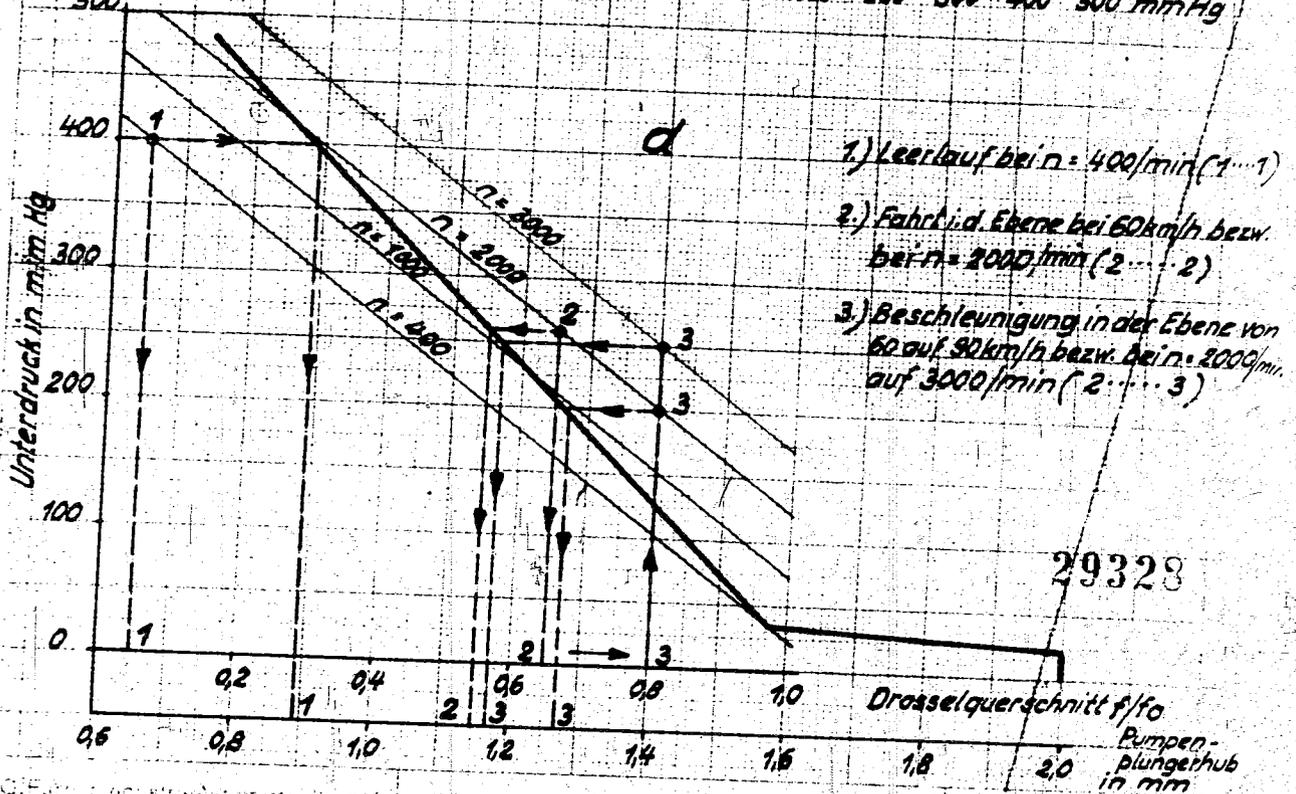
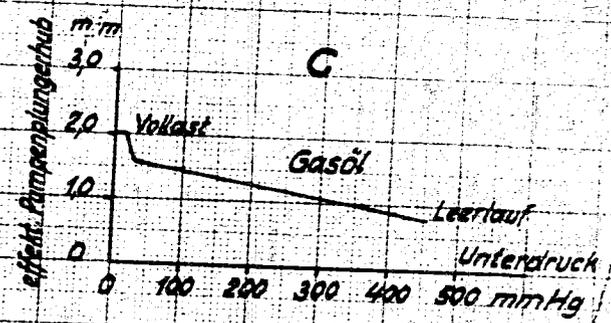
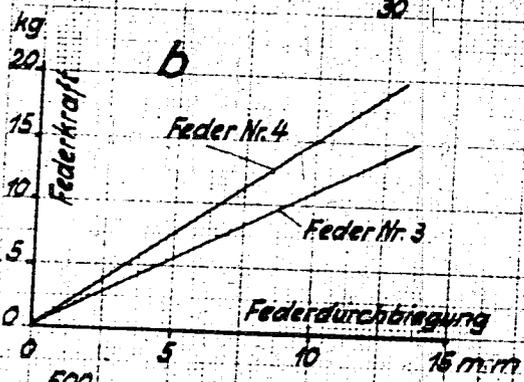


Bild 3



3000 n/min Motorarehzahl
30 km/h Geschwindigkeit



- 1.) Leertlauf bei $n = 400/\text{min}$ (1...1)
- 2.) Fahrt in d. Ebene bei 60 km/h bzw. bei $n = 2000/\text{min}$ (2...2)
- 3.) Beschleunigung in der Ebene von 60 auf 90 km/h bzw. bei $n = 2000/\text{min}$ auf 3000/min (2...3)

29328

In diesem Zusammenhang ist es von Wichtigkeit, gleich auf die Kraftstoffluftgemisch-Regelung beim Hesselman-Motor einzugehen. Es ist bekannt, daß bei den mit Fremdzündung arbeitenden Motoren das Kraftstoff-Luftgemisch innerhalb der Explosionsgrenzen liegen muß.

In Bild 4, a ist der Leistungsbedarf des Wagens auf ebener Strecke, die Hinterradvolleistung und die Motorvolleistung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit aufgetragen. Außerdem wurde noch der Wirkungsgrad der Übertragung, der gebildet wird aus dem Quotienten Hinterradvolleistung und Motorvolleistung, aufgezeichnet. Die Teilbelastungen ergeben der Hinterradvolleistung ähnliche, jedoch tieferliegende Kurven.

Bild 4 b gibt die Kennlinien von 2 Federn des Unterdruckreglers und Bild 4 c die Abhängigkeit des effektiven Pumpenhubs vom Unterdruck in der Ansaugleitung wieder. Dabei ist zu erwähnen, daß der Unterdruckregler noch mit einer zweiten weichen Feder ausgerüstet ist. Diese soll im Bereich der großen Drosselöffnungen die Regelung empfindlicher machen (dargestellt im Schaubild durch das linke steilere Geradenstück). Das daran anschließende horizontale Geradenstück stellt dagegen den durch Stellschraube begrenzten Pumpenhub dar. In Bild 4 d wird versucht, den Regelvorgang allerdings stark vereinfacht darzustellen. Die schwach ausgezogenen Geraden sollen die Abhängigkeit des Unterdruckes von der Drosselöffnung bei verschiedenen Drehzahlen wiedergeben. Das Abrechnen der Unterdruckkurven bei 500 mm Hg ist bedingt durch ein Luftzusatzventil, das bei plötzlichem Schließen der Drossel bei hohen Geschwindigkeiten Aussetzer infolge Luftmangel verhindern soll. Die stark ausgezogene Kurve zeigt die Abhängigkeit des effektiven Pumpenhubs vom Unterdruck. Das rechte flache Geradenstück bedeutet wieder die Kennlinie der schwachen Zusatzfeder, das senkrechte Geradenstück die Hubbegrenzung. Je nach der Kennlinie der in den Luftregler eingebauten Feder ist es also möglich, ein über den Belastungsbereich verschiedenes Kraftstoff-Luftgemisch einzustellen.

Allgemein ergibt sich zu jeder Drosselstellung und einer Drehzahl ein bestimmter Unterdruckwert und dazu wieder ein bestimmter effektiver Pumpenhub. In dem Schaubild sind drei verschiedene Regelvorgänge eingetragen und die zusammengehörigen Punkte mit den gleichen Zahlen bezeichnet.

- 1.) Leerlauf bei $n = 400/\text{min}$. (Punkte 1 . . . 1)
- 2.) Fahrt in der Ebene bei 60 km/h Geschwindigkeit ($n = 2000/\text{min}$, Punkte 2 . . . 2)
- 3.) Beschleunigung in der Ebene von 60 auf 90 km/h ($n = 2000$ auf 3000/min, Punkte 2 . . . 3)

In diesem Zusammenhang ist es von Wichtigkeit, gleich auf die Kraftstoffluftgemisch-Regelung beim Hesselman-Motor einzugehen. Es ist bekannt, daß bei den mit Fremdzündung arbeitenden Motoren das Kraftstoff-Luftgemisch innerhalb der Explosionsgrenzen liegen muß.

In Bild 4 a ist der Leistungsbedarf des Wagens auf ebener Strecke, die Hinterradvolleistung und die Motorvolleistung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit aufgetragen. Außerdem wurde noch der Wirkungsgrad der Übertragung, der gebildet wird aus dem Quotienten Hinterradvolleistung und Motorvolleistung, aufgezeichnet. Die Teilbelastungen ergeben der Hinterradvolleistung ähnliche, jedoch tieferliegende Kurven.

Bild 4 b gibt die Kennlinien von 2 Federn des Unterdruckreglers und Bild 4 c die Abhängigkeit des effektiven Pumpenhubs vom Unterdruck in der Ansaugleitung wieder. Dabei ist zu erwähnen, daß der Unterdruckregler noch mit einer zweiten weichen Feder ausgerüstet ist. Diese soll im Bereich der großen Drosselöffnungen die Regelung empfindlicher machen (dargestellt im Schaubild durch das linke steilere Geradenstück). Das daran anschließende horizontale Geradenstück stellt dagegen den durch Stellschraube begrenzten Pumpenhub dar. In Bild 4 d wird versucht, den Regelvorgang allerdings stark vereinfacht darzustellen. Die schwach ausgezogenen Geraden sollen die Abhängigkeit des Unterdruckes von der Drosselöffnung bei verschiedenen Drehzahlen wiedergeben. Das Abbrechen der Unterdruckkurven bei 500 mm Hg ist bedingt durch ein Luftzusatzventil, das bei plötzlichem Schließen der Drossel bei hohen Geschwindigkeiten Aussetzer infolge Luftmangel verhindern soll. Die stark ausgezogene Kurve zeigt die Abhängigkeit des effektiven Pumpenhubs vom Unterdruck. Das rechte flache Geradenstück bedeutet wieder die Kennlinie der schwachen Zusatzfeder, das senkrechte Geradenstück die Hubbegrenzung. Je nach der Kennlinie der in den Luftregler eingebauten Feder ist es also möglich, ein über den Belastungsbereich verschiedenes Kraftstoff-Luftgemisch einzustellen.

Allgemein ergibt sich zu jeder Drosselstellung und einer Drehzahl ein bestimmter Unterdruckwert und dazu wieder ein bestimmter effektiver Pumpenhub. In dem Schaubild sind drei verschiedene Regelvorgänge eingetragen und die zusammengehörigen Punkte mit den gleichen Zahlen bezeichnet.

- 1.) Leerlauf bei $n = 400/\text{min}$. (Punkte 1 . . . 1)
- 2.) Fahrt in der Ebene bei 60 km/h Geschwindigkeit ($n = 2000/\text{min}$, Punkte 2 . . . 2)
- 3.) Beschleunigung in der Ebene von 60 auf 90 km/h ($n = 2000$ auf $3000/\text{min}$, Punkte 2 . . . 3)

In Bild 5 ist die Anordnung vom Meßbehälter und des Kienzle-Tachographen wiedergegeben.

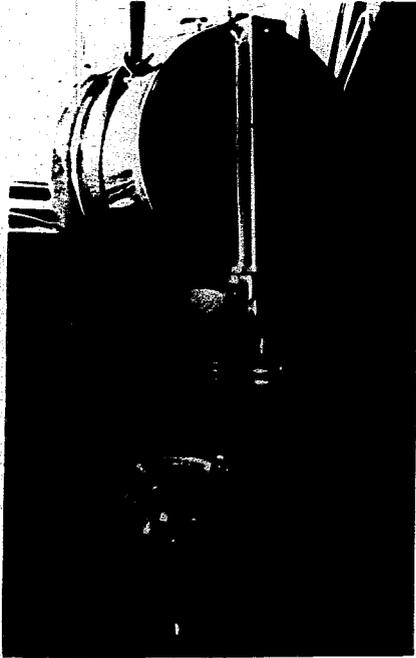


Bild 5.

Für die Verbrauchsmessung wurde ein umschaltbarer Meßbehälter, wie er von unserem Einstelldienst gebraucht wird, verwendet. Um die Fahrversuche möglichst genau überwachen zu können, wurde noch ein Kienzle-Tachograph eingebaut. Dieser war direkt an die Tachometerwelle des Getriebes angeschlossen und registrierte automatisch die gefahrenen Kilometer, die Fahrzeiten, die Geschwindigkeiten usw. . Die Geschwindigkeiten bei den Verbrauchsmessungen wurden außerdem gestoppt.

Die normale Kraftstoffförderung zeigt Bild 6. Bei den Verbrauchsmessungen wurde lediglich der Kraftstoffbehälter (3) durch das Meßgefäß ersetzt und das am Kraftstofffilter (6) befindliche Überströmventil (5) blindgemacht. Außerdem wurde die Charakteristik der in der Förderpumpe (4) befindlichen Plungerfeder so abgeändert, daß der laut Betriebsvorschrift erforderliche Förderdruck von 0,5 atü erhalten blieb.

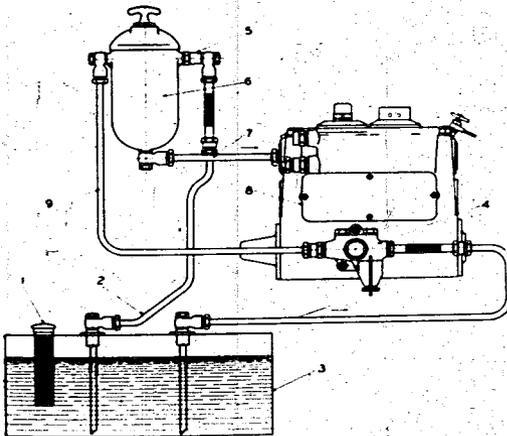


Abb. 19. Kraftstoffförderung.

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1. Einfüllstutzen mit Sieb. | 6. Kraftstofffilter. |
| 2. Überlaufleitung. | 7. Zulaufleitung der Einspritzpumpe. |
| 3. Kraftstoffbehälter mit Schlamm- und Ablasschraube. | 8. Einspritzpumpe. |
| 4. Förderpumpe mit Grobfilter. | 9. Druckleitung der Förderpumpe. |
| 5. Überströmventil. | |

Bild 6.

B) Ermittlung des Kraftstoffverbrauches.

Die Kraftstoffverbrauchsmessungen wurden

1. auf der Reichsautobahn Mannheim-Heidelberg und zurück,
2. auf der Reichsstraße Mannheim-Heidelberg und zurück,
3. im Stadtverkehr (Berk Oppau bis Einfahrt Reichsautobahn)

durchgeführt. Die Versuchsstrecken zeigen Bild 7 und 8.



Bild 7

Die Reichsautobahn und auch die Reichsstraße weist kaum Steigungen auf. Die Strecke für die Verbrauchsmessung im Stadtverkehr führte von Oppau quer durch Ludwigshafen über die Eisenbahnüberführung und die Rheinbrücke nach und durch Mannheim bis zur Einfahrt der Reichsautobahn.



Bild 8

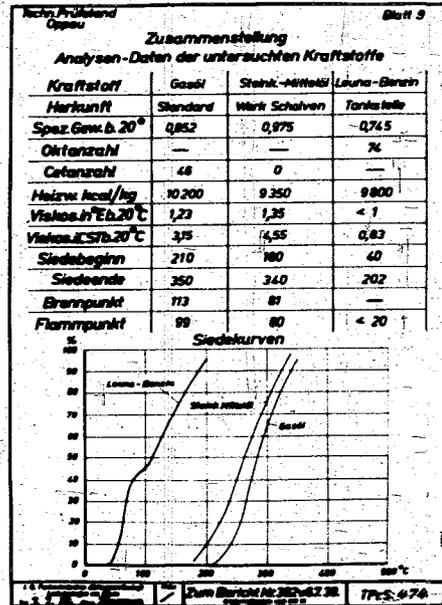


Bild 9

Bei den Kraftstoffverbrauchsmessungen auf der Reichsautobahn wurden bei verschiedenen Fahrzeuggeschwindigkeiten 40, 50, 60, 70 und 80 km/h die Verbräuche in ltr./100 km bzw. ltr./h ermittelt. Die Fahrten wurden einmal in Richtung Heidelberg und einmal in Richtung Mannheim durchgeführt, um die Witterungsverhältnisse, wie Gegenwind u.a. auszugleichen. Aus beiden Messungen wurde dann ein Mittelwert gebildet. Die wichtigsten Analysendaten der untersuchten Kraftstoffe gibt Bild 9 wieder. Das höhere spez. Gewicht und der niedrigere Heizwert des Steinkohlenmittelöls läßt auf einen erheblich geringeren Wasserstoffgehalt verglichen mit dem des untersuchten Gasöls schließen. In Siedebeginn unterscheiden sich die beiden Schweröle nur wenig voneinander. Die sehr schlechte Cetanzahl des Steinkohlenmittelöls gewähr-

Kraftstoffverbrauch im Fahrbetrieb

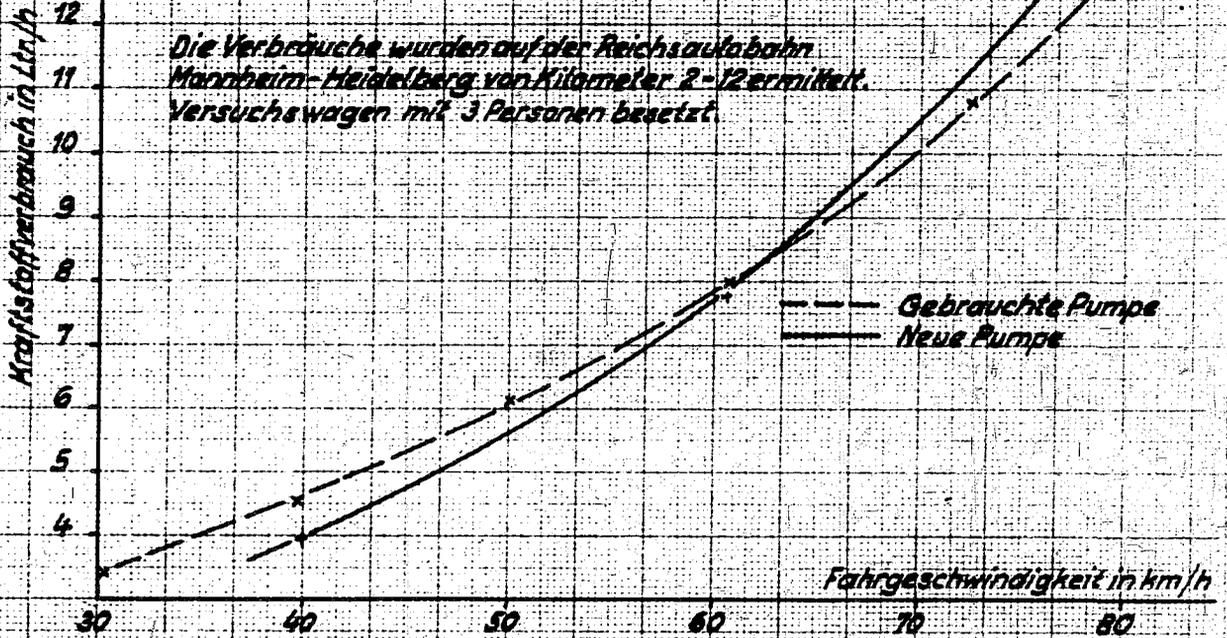
Kraftstoff: Standard Gasöl

Spez. Gewicht: $\gamma = 0,832$

Unt. Heizwert kcal/kg = 10200

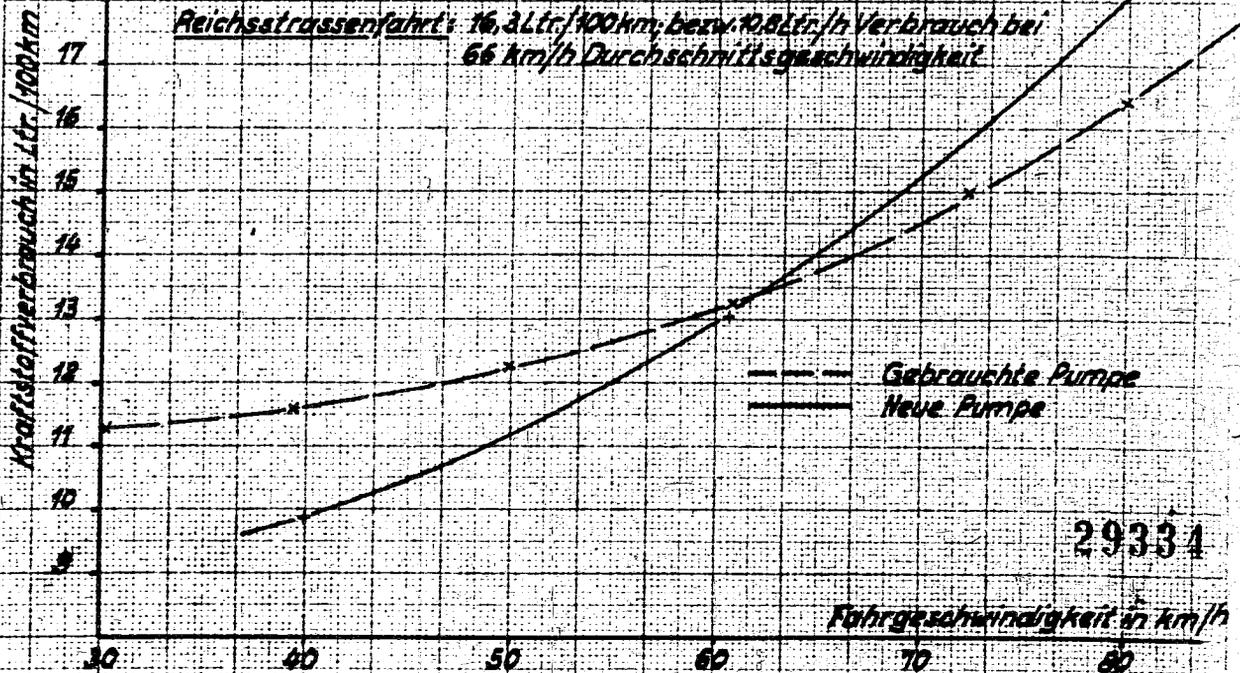
Getriebezahl: $12 = 4,5$

Die Verbräuche wurden auf der Reichsautobahn
Mannheim-Heidelberg von Kilometer 2-12 ermittelt.
Versuchswagen mit 3 Personen besetzt.



Stadtverkehr: 14,4 Ltr./100km, bzw. 5,5 Ltr./h Verbrauch bei
38 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit

Reichsstrassenfahrt: 16,3 Ltr./100km, bzw. 6,0 Ltr./h Verbrauch bei
66 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit



29334

Kraftstoffverbrauch im Fahrbetrieb

Kraftstoff: Steinkohlen-Mittelöl von Schöbren

Spez. Gewicht: $\gamma = 0,818$
 Unt. Heizwert $kcal/kg = 9350$
 Getanzahl: $GT = 0$

Die Verbräuche wurden auf der Reichsautobahn
 Mannheim - Heidelberg von Kilometer 2-12 ermittelt.
 Versuchswagen mit 3 Personen besetzt.

Kraftstoffverbrauch in Ltr./h

--- Gebrauchte Pumpe
 ——— Neue Pumpe

Fahrgeschwindigkeit in km/h

Stadtverkehr: 18,5 Ltr./100km, bzw. 5,7 Ltr./h Verbrauch bei
 36,6 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit

Reichsstrassenfahrt: 16,5 Ltr./100km, bzw. 4,9 Ltr./h Verbrauch bei
 60 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit

--- Gebrauchte Pumpe
 ——— Neue Pumpe

29335

Fahrgeschwindigkeit in km/h

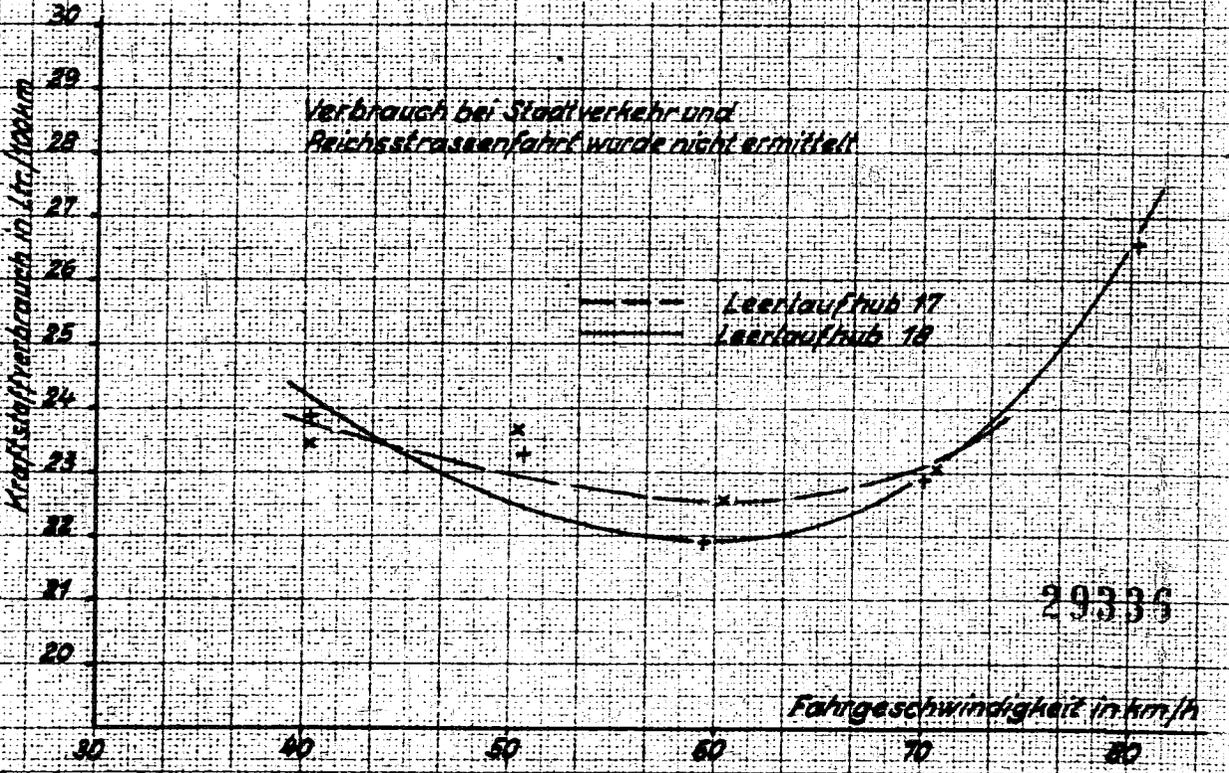
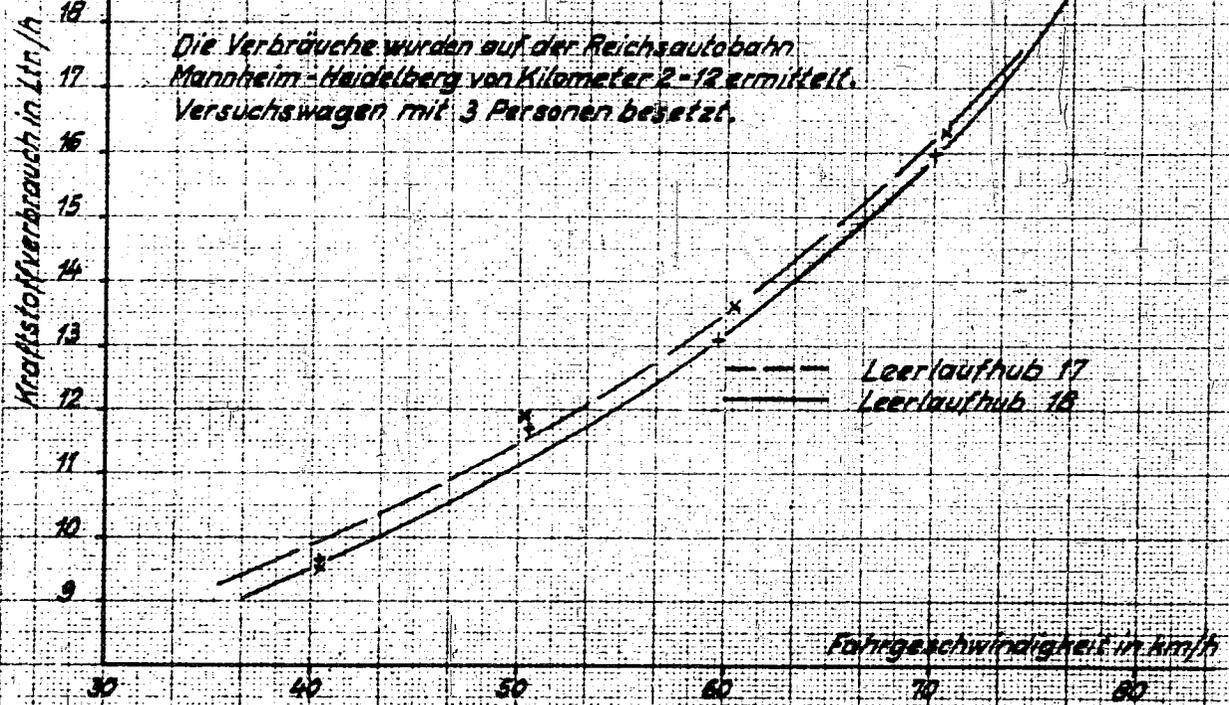
Kraftstoffverbrauch in Ltr./100km

Kraftstoffverbrauch im Fahrbetrieb

Kraftstoff: Leuna Benzin + 3% Aeroshell M

Spez. Gewicht: $\rho = 0,745$
Unt. Heizwert: kcal/kg = 9800
Oktanzahl: ROZ = 74

Die Verbräuche wurden auf der Reichsautobahn
Mannheim-Heidelberg von Kilometer 2-12 ermittelt.
Versuchswagen mit 3 Personen besetzt.



29336

leistet einen kloppfreien Betrieb im Hesselman-Motor. Bei Gasöl mit der Cetanzahl 46 dagegen dürfte seitweiliges Klopfen, beispielsweise beim Beschleunigen nicht zu vermeiden sein. Bei der geringen Viskosität des Benzins von nur 0,83 csts ist mit nicht unerheblichen Leckölverlusten in der Einspritzpumpe zu rechnen. Es ist daher zweckmäßig, dem Benzin einen bestimmten Prozentsatz Schmieröl zuzusetzen.

Die Verbrauchskurven für Gasöl, für ein Steinkohlennittelöl von Scholven und ein Tankstellenbenzin mit der Oktanzahl 74 sind in den Bildern Nr. 10, 11 und 12 zusammengestellt. Bei den Kraftstoffverbrauchskurven ist in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Verbrauch in ltr/100 km bzw. in ltr/h aufgetragen. Die beiden Kurven in Bild Nr. 10 zeigen die Ergebnisse zweier verschiedener Meßreihen mit zwei Einspritzpumpen, einer älteren angebauten und einer neu nachgelieferten. Die mit der älteren Einspritzpumpe ermittelten Verbrauchswerte liegen bei den niedrigen Geschwindigkeiten wahrscheinlich infolge der größeren Leckölverluste (bei den niedrigeren Pumpendrehzahlen) höher. Das bei der neuen Pumpe der Kraftstoffverbrauch bei hohen Geschwindigkeiten größer ist, dürfte auf einer anderen Förder-Charakteristik der neuen Pumpe beruhen, die auch durch Einbau einer härteren Feder in den Unterdruckregler nicht ganz auszuschalten war. Dies bestätigt auch die gemachte Erfahrung, daß der Motor mit der neuen Pumpe bei scharfem Beschleunigen und in Steigungen leicht zum Rauchen neigte, d.h. daß der Luftregler ein zu stark angereichertes Kraftstoff-Luftgemisch einstellte.

Bild Nr. 11 zeigt die entsprechenden Verbräuche bei einem Steinkohlennittelöl vom Werk Scholven. Auch hier läßt sich ein Unterschied in den beiden Einspritzpumpen feststellen und zwar liegt der Verbrauch bei der neuen Pumpe über den ganzen Meßbereich etwas höher als bei der alten Pumpe. Die Begründung dürfte im folgenden liegen: Die alte Pumpe war auf günstigsten Verbrauch bei Steinkohlennittelöl eingestellt. Bei der neuen Pumpe jedoch wurde der Steinkohlennittelöl-Verbrauch bei einer Einstellung gemessen, die der auf günstigsten Verbrauch bei Gasöl entsprach.

Vergleicht man nun die Verbrauchskurve von Gasöl und Steinkohlennittelöl in Bild 10 und 11, so ergibt sich nur ein geringer Unterschied, der noch innerhalb der Meßgenauigkeit liegt.

Die Meßwerte sind für Benzin in Bild Nr. 12 zusammengestellt. Es fällt sofort auf, daß die Verbrauchswerte bedeutend höher liegen, als bei Gasöl und bei Mittelöl. Dazu ist zunächst zu sagen, daß es trotz verschiedener Pumpen-

einstellungen, Änderung des Einspritzpunktes (dieser wurde sogar bis in den Saughub verlegt) und der günstigsten Einstellung des Zündzeitpunktes nicht möglich^{war} bei Benzin den Verbrauch zu senken. Die beiden Meßreihen wurden mit der neuen Pumpe gefahren, da es mit der alten Pumpe infolge der Pumpenplungerleckverluste nicht möglich war, bei niedrigen Geschwindigkeiten eine einwandfreie Einspritzung und somit aussetzerfreien Lauf zu erhalten. Vergrößert man nun den Leerlaufhub, um auch bei niedrigen Geschwindigkeiten einen störungsfreien Lauf und günstige Beschleunigungsverhältnisse zu erzielen, so steigt der Kraftstoffverbrauch bei den hohen Drehzahlen außerordentlich rasch an. Diese Schwierigkeit konnte auch nicht durch den Einbau einer anderen Reglerfeder, durch die die Charakteristik des Unterdruckreglers geändert wurde, behoben werden. Bei der neuen Pumpe trat dieser Umstand nicht so sehr in Erscheinung, allerdings dürfte sie ebenfalls große Leckverluste gehabt haben, was aus dem bei niedrigen Geschwindigkeiten ansteigenden Kraftstoffverbrauch hervorgeht.

Der Verbrauch ist bei den höheren Geschwindigkeiten auch bei Berücksichtigung des bei Benzin niedrigeren Literheftwertes gegenüber Gasöl ebenfalls viel zu hoch. Andererseits war nach dem Aussehen der Zündkerzen zu urteilen, das Kraftstoff-Luftgemisch eher zu mager als zu reich, zumal eine noch ärmere Pumpeneinstellung sofort Aussetzer und eine unbefriedigende Leistung zur Folge hatte.

Als mögliche Ursachen für den hohen Benzinverbrauch bleiben danach entweder hohe Leckverluste (um diese möglicherweise zu verringern, war dem Benzin etwa 3% Schmieröl zugesetzt worden) oder eine mangelhafte Gemischbildung im Zylinder bestehen. Letzteres wird bestätigt durch den im Auspuff auftretenden Geruch, wie er bei unverbranntem Kraftstoff wahrnehmbar ist. Beide Erscheinungen lassen sich nur bei ausgebautem Motor auf dem Prüfstand klären. Vielleicht sind auch die eingebauten Einspritzdüsen für Benzin nicht geeignet.

Bei den Kraftstoff-Messungen auf der Reichstraße und im Stadtverkehr wurde der Verbrauch bei einer mittleren Durchschnittsgeschwindigkeit ermittelt. Für die untersuchten Kraftstoffe ergibt sich folgende Übersicht:

Kraftstoff	Durchschnitts-Geschw. km/h		Kraftstoffverbr.		Mehrverbrauch in % gegenüber Reichsautob.	
	Reichsstr.	Stadtverk.	ltr/100 km	ltr/h	Reichsstr.	Stadtverk.
Gasöl	66	--	16,3	10,75	16	--
	--	38	14,4	5,5	--	26
Mittelöl	60	--	16,5	9,9	20,2	--
	--	36,6	15,5	5,7	--	47

Die Übersicht zeigt in anschaulicher Weise den Mehrverbrauch auf der Reichsstraße und im Stadtverkehr gegenüber der Reichs-Autobahn. So erhöht sich beispielsweise für Gasöl bei einem Durchschnitt von 66 km/h auf der Reichsstraße der Verbrauch gegenüber der Reichsautobahn um etwa 16 %, im Stadtverkehr bei einem geringeren Durchschnitt von 38 km/h sogar um etwa 20 %. Bei Steinkohlenmittelöl liegen die Werte noch höher. Dieser Mehrverbrauch dürfte beim Steinkohlenmittelöl auf eine beim Beschleunigen anfänglich unvollkommene Verbrennung der im Leerlauf abgeschalteten drei Zylinder zurückzuführen sein. Zum Vergleich sind in Bild Nr. 13 auch einige Tachogramme wiedergegeben. Die Verschlechterung im Verbrauch wird sofort verständlich, wenn man diese Tachogramme betrachtet.

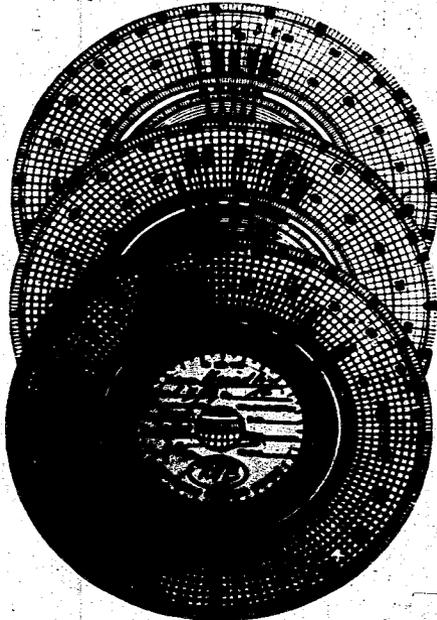


Bild Nr. 13

Gegenübergestellt sind wieder Reichsautobahn, Reichsstraße und Stadtverkehr. Das oberste Diagramm zeigt eine außerordentlich hohe Anzahl von Belastungswechseln, wie Verzögern, Beschleunigen, Schalten und Abstoppen. Günstiger werden die Verhältnisse auf der Reichsstraße, sofort an der geringeren prozentualen Zunahme des Kraftstoffverbrauchs erkennbar. Das unterste Diagramm zeigt schließlich den Verlauf auf der Reichsautobahn, wo stets eine gleichmäßige Geschwindigkeit beibehalten werden konnte und somit auch der günstigste Verbrauch erzielt wurde.

C) Bestimmung der Schmierölverdünnung.

Bekanntlich ist bei allen mit Fremdzündung arbeitenden Verbrennungsmotoren mit einer Schmierölverdünnung durch in den Kurbelraum gelangten Kraftstoff zu rechnen. Diese Schmierölverdünnung wird beim Hesselman-Motor, der in den Verdichtungshub einspritzt, und somit die Zeit für eine Rückkondensation und einen Kraftstoffdurchschlag stark verkürzt ist, ziemlich vermieden. Voraussetzung ist dabei allerdings, daß die Einspritzdüsen einwandfrei zerstäuben und die Zündkerzen aussetzerfrei arbeiten. Bedingung ist ferner, daß der Einspritz- und Zündbeginn in richtigen Zeitpunkt erfolgt.

Allgemein ist die Schmierölverdünnung stark von dem Siedeverlauf der verwendeten Kraftstoffe abhängig. Bei hochsiedenden Kraftstoffen ist die Gefahr der Schmierölverdünnung erheblich größer, als bei den leichtsiedenden Benzin, zumal kondensiertes Benzin wieder ausdampft. Die Schmierölverdünnung wurde in Dauerfahrten von etwa 1 000 km für Gasöl, Benzin und Steinkohlenmittelöl ermittelt. Zum Beginn wurde das gesamte Schmieröl abgelassen und durch neues ersetzt. Verwendet wurde ein Markenöl Essolub 50 von der Standard, dessen Analysendaten im folgenden angegeben sind:

spez. Gew. bei 20° C	0,886	
Viskosität bei 38° C	25,7	°E
" " 99° C	2,51	°E
Viskos. Index	99	
Flamapunkt	272	°C
Verd. Test	4,6	Gew. %
Verseifungszahl	0,23	
Stockpunkt	- 12	°C

Säurezahl 0,02
 Asphalt und Harz 5,1 ‰

Nach Beendigung der Dauerfahrt wurde das gesamte Schmieröl abgelassen, gewogen und Proben zwecks Untersuchung auf Verunreinigungen entnommen. Bei Gasöl- und Mittelölbetrieb wurde dabei ein merklicher Brennstoffdurchschlag festgestellt. Eine Ausnahme machte dagegen Benzin. Die Gewichtszunahmen betragen (bei einer Füllung von 8 kg Schmieröl)

für Gasöl 1,625 kg
 " Steinkohlennittelöl 2,05 "
 " Benzin 0,42 "

Dabei ist allerdings zu bedenken, daß noch ein Schmierölverbrauch berücksichtigt werden muß und somit der Brennstoffdurchschlag noch höher anzusetzen ist.

Versuche mit einer mageren Einstellung ergaben Aussetzer vor allem bei niedrigen Drehzahlen, was zur Folge hatte, daß die Schmierölverdünnung noch größere Werte annahm. Eine in dieser Richtung hin durchgeführte Messung ergab beispielsweise schon nach 600 km eine Zunahme von 2,1 kg. Die Schmierölveränderung durch den Kraftstoffdurchschlag geht aus folgender Übersicht hervor:

	Gasöl	Mittelöl	Benzin
Schmierölverdünnung	5,7 ‰	32,2 ‰	1,9 ‰
Viskosität bei 38° C	2,04 ‰	1,45 ‰	2,39 ‰
Mech. Verunreinigung	0,74 ‰	1,47 ‰	0,54 ‰
Asphalt und Harz	4,8 ‰	8,8 ‰	5,2 ‰
Flashpunkt	168° C	132° C	182° C

Zunächst fällt die außerordentlich hohe Ölverdünnung von 32,2 % bei dem Steinkohlennittelöl auf. Die Viskosität des gebrauchten Schmieröles gegenüber Frischöl sank dabei um etwa die Hälfte. Am günstigsten schneidet Benzin ab, dies ist auch erklärlich, da ein sehr hoher Prozentsatz des Benzins wieder ausdampft. Die mechanischen Verunreinigungen bei Gasöl und bei Benzin unterscheiden sich nur wenig. Bei Steinkohlennittelöl ist die mech. Verunreinigung jedoch sehr hoch und beträgt etwa das Dreifache von der des Benzins.

Der Ausbaubefund der Einspritzdüsen und Zündkerzen nach je 1000 km Betriebszeit mit den drei untersuchten Kraftstoffen ist in folgender Zusammenstellung wiedergegeben:

Kraftstoff	Aussehen der Düsen	Aussehen der Kerzen
Gasöl	Geringe Rückstandsbildung an der Düse, Düsenkopf und Bohrungen frei.	Geringe Rückstandsbildung am Kerzenrand, Isolatorfarbe graubraun.
Steinkohlennittelöl	Starker unregelmäßiger Belag am Düsenkopf, Bohrungen auf 4 - 5 mm Ø frei.	Starker Belag, Isolatorfarbe schwarzbraun.
Benzin + 3 % Aero-Shell-Schmieröl	1 mm starker blättriger Belag, besonders am Düsenchaft und -halter, Bohrungen frei.	Blättriger Belag am Kerzenrand, Isolator sauber, Farbe hellbraun bis weiß.

D) Untersuchung der Fahreigenschaften.

Hinsichtlich Beschleunigung zeigte der Versuchsmotor das bei Fahrzeugmotoren mit Kraftstoffeinspritzung, beispielsweise beim Dieselmotor übliche Verhalten. Es tritt also das oftmals bei Vergaser-Motoren beobachtete „Loch“ nicht auf, d.h. der Motor nimmt den Kraftstoff sofort an, wodurch eine augenblickliche Beschleunigung erzielt wird.

Beschleunigungsmessungen wurden nur bei Gasöl und bei Steinkohlennittelöl durchgeführt, da, wie bereits erwähnt, es nicht möglich war, auch auf Benzinbetrieb die gleichen Verbräuche wie bei den Schwerölen zu erhalten. Um das

Fahrzeug von 30 auf 70 km/h zu beschleunigen, wurden bei Gasöl 21 sec und bei Steinkohlensmittelöl 23 sec Verzögerung gemessen.

Der Motor war bei Gasöl vor allem in den unteren Drehzahlen elastischer als bei Steinkohlensmittelöl, was auf eine ungünstigere Verbrennung des Steinkohlensmittelöls bei Teillast hindeutet. Wie zu erwarten, wurde bei Benzin und bei Steinkohlensmittelöl Klopfen des Motors nicht beobachtet. Bei Gasöl dagegen trat ein allerdings kaum störendes Klopfen auf, wenn das Fahrzeug aus einer Geschwindigkeit von 30 - 40 km/h scharf beschleunigt wurde. Verglichen mit einem Kraftfahrzeug, das mit Diesel- oder Vergaser-Motor ausgerüstet ist, ließ sich der Hesselman-Versuchswagen in gleicher Weise starten, schalten und beschleunigen.

[Handwritten signature]

Hesselman

Anlagen:

4 Blätter Schaubilder.