

Veröffentlichung ohne Genehmigung
nicht gestattet
Alle Exemplare nur durch
den Übersetzer

Ing. Gustav Kraut
Warmbronn
(Stuttgart) Im Gäble 16

Übersetzung aus der japanischen Zeitschrift

"Nainen Kikan" (Die Brennkraftmaschine)

Band 5, Heft Nr.53, November 1966, Seite 11-17

Die Vollast-Leistungscharakteristik bei Benzin-
einspritzung in die Ansaugleitung

Stuttgart
Zeitschriftenstelle

0. Mai 1968

von T.Masuda
(Firma Nissan Automobil-AG)
und T.Murayama
(Hokkaido Universität)

Da es mit Hilfe des Benzineinspritzverfahrens gelungen ist, bei einem Zweitaktmotor (mit Direkteinspritzung) die Menge des durchgehenden Kraftstoffes zu verringern, ist man auf einen Kraftstoffverbrauch gekommen, wie man ihn bei einem Viertaktmotor hat. Vom Viertaktmotor wird ja gesagt, daß man nicht erwarten darf, eine wesentliche Verbesserung der Leistungen ~~des~~ des Kraftstoffverbrauches dadurch zu erzielen, daß man einfach den Vergaser durch eine Einspritzanlage ersetzt. Im Vergleich mit dem Vergasersystem ist jedoch beim Einspritzsystem der Freiheitsgrad bei der Wahl der Form des Ansaugsystemes sehr viel größer, und es ist viel leichter, bei einem Mehrzylindermotor ein gleichmäßiges Gemischverhältnis zu erhalten; man hat deshalb daran gedacht, das Einspritzverfahren zum Zwecke der Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Motors zu verwenden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, das Vergasersystem und das Einspritzsystem hinsichtlich ihrer besonderen Vorzüge und Nachteile miteinander zu vergleichen und insbesondere auf ihre jeweilige Vollast-Charakteristik hin zu untersuchen; wir haben zu diesem Zwecke einen Benzinmotor für Kraftfahrzeuge (Viertakt, Vierzylinder, 1,5 l wassergekühlt) verwendet und wir haben die Leistungscharakteristik beim Vergasersystem einerseits und beim Ansaugrohreinspritzsystem, bei welchem wir alle möglichen verschiedenen Kombinationen in Betracht gezogen haben, miteinander verglichen. Im Anschluß hieran haben wir bei unserer Versuchsarbeit auch noch einige verschiedene Formen des Ansaugsystemes untersucht; als Ergebnis unserer Arbeit haben wir die erneute Bestätigung dafür erhalten, daß, im Hinblick auf eine angestrebte Leistungssteigerung sowohl

beim Vergasersystem, wie auch beim Einspritzsystem die Verbesserung des Ansaugsystemes des Motors eine wichtige Aufgabe darstellt.

1. Vorwort

Über die Vorteile und Nachteile der Anwendung des Benzin-einspritzsystems als Kraftstoffzuführsystem bei Funkenzündmotoren ist bis heute schon sehr viel diskutiert worden. Dadurch daß man bei einem Zweitaktmotor den Vergaser durch eine Einspritzanlage ersetzt und den Kraftstoff unmittelbar in den Zylinder einspritzt, gelingt es, die beim Spülhub verlorengelassene Kraftstoffmenge zu verringern man hat deshalb angenommen, daß man auf diese Weise auch beim Zweitaktmotor einen dem Viertaktmotor gleichkommen den Kraftstoffverbrauch erzielen könne, und man hat dieses System schon früher einmal bei den serienmäßig hergestellten Kraftfahrzeugen Goliath und Gudbrod (Westdeutschland) praktisch angewandt. Im Gegensatz hierzu hat man angenommen, daß man bei einem Viertaktmotor eine nennenswerte Verbesserung der Leistung und des Kraftstoffverbrauches nicht einfach dadurch erreicht, daß man den Vergaser durch eine Einspritzanlage ersetzt. Bei einer Einspritzanlage ist jedoch der Freiheitsgrad bei der Wahl der Form des Ansaugsystems wesentlich größer als dies beim Vergasersystem der Fall ist und es ist hier leicht, bei einem Vielzylindermotor dafür zu sorgen, daß man für die einzelnen Zylinder ein gleichmäßiges Gemisch erhält; es wird daher angenommen, daß man das Einspritzsystem dank dem dabei genommenen hohen Kompressionsverhältnis zu einer wesentlichen Verbesserung der Leistungskennlinie des Motors ausnützen kann. Die gute und rasch ansprechende Beschleunigungsfähigkeit bei der Fahrt des Kraftfahr-

zeuges, die Laufruhe bei niedrigen Drehzahlen usw. sind hervorragende Eigenschaften, die wir dem Prinzip dieses Kraftstoffzufuhrsystemes verdanken. Andererseits ist allerdings das Einspritzsystem in seinem Mechanismus wesentlich komplizierter, wenn wir jedoch all die Funktionen, über welche ein moderner Vergaser praktisch verfügt, zusammenfassen, so ist dieser ebenfalls kompliziert, weiterhin ist zu erwarten, daß auch die Preisdifferenz mit der Zeit abgebaut wird.

Die Einspritzsysteme bei Funkenzündmotoren werden in die zwei großen Gruppen eingeteilt, nämlich das System der Einspritzung in die Ansaugleitung und das System der Einspritzung in den Zylinder; die erste Gruppe wiederum läßt sich aufteilen in ein System der kontinuierlichen Einspritzung und ein System der Einspritzung zu bestimmten Zeiten sowie in die Sammeleinspritzung und in die Einspritzung bei jedem einzelnen Zylinder. In der vorliegenden Arbeit sollen die Vorteile und die Nachteile des Vergasersystems einerseits und des Einspritzsystems andererseits miteinander verglichen werden. Insbesondere soll die Vollast-Charakteristik untersucht werden; wir haben zu diesem Zweck einen handelsüblichen Motor, wie er als Benzinmotor in Kraftfahrzeuge eingebaut wird (Viertakt, Vierzylinder, wassergekühlt, oben gesteuert) verwendet. Bei diesem Motor haben wir das Vergasersystem sowie verschiedene denkbare Kombinationen des Saugrohreinspritzsystems untersucht und in der vorliegenden Arbeit sollen nun die Ergebnisse dieser Versuche hinsichtlich der Leistung bei Vollast miteinander verglichen und diskutiert werden. Wir hoffen, mit der Veröffentlichung unserer Arbeit den Lesern eine

wertvolle Information zu bieten.

2. Der Versuchsmotor, die Versuchseinspritzanlage und der für unsere Versuche verwendete Kraftstoff

2.1 Der Versuchsmotor

Der bei unseren Versuchen verwendete Motor war in einen Prince-Skyline eingebaut, es war ein handelsüblicher serienmäßig gefertigter Motor, wassergekühlt, Viertakt, Vierzylinder, oben gesteuert, 1,5 l, mit Vergaser. Das Kompressionsverhältnis des handelsüblichen Motors betrug $7.5 : 1$, bei unseren Versuchen jedoch haben wir soweit dies die Konstruktion gestattete, die Fläche des Zylinderkopfes auf der Seite der Verbrennungskammer verringert und so ein Kompressionsverhältnis von $8.5 : 1$ erhalten. Die wichtigsten Daten des für unsere Versuche verwendeten Motors sind aus der Tafel 1 zu ersehen.

2.2 Die für die Versuche verwendete Kraftstoffeinspritzpumpe

Die bei unseren Versuchen verwendete Einspritzpumpe war eine Kolbenpumpe, wie sie für den praktischen Gebrauch für Zweitaktzweizylindermotoren angeboten wird. Bei unseren Versuchen haben wir zwei Stück dieser Pumpen mit der Nockenwelle verbunden (gekuppelt?) und wir haben auf diese Weise diese beiden Pumpen für den Vierzylindermotor verwendet. Die Pumpen haben wir auf der Zündkerzenseite des Zylinderblockes befestigt und von der Kurbelwelle her über Zahnräder mit der halben Kurbelwellendrehzahl angetrieben. Die Zahnstange für die Kraftstoffmengenregelung wird durch eine Membran betätigt, so daß man eine vom Unterdruck in der Ansaugleitung abhängige Mengenregelung vorausgeplant hat, bei unseren Versuchen jedoch hat man sich durch

eine mit Einzelantrieb arbeitende Vakuumpumpe auf die günstigste zum Motor fließende Kraftstoffmenge eingestellt. In der Tafel 2 sind die wichtigsten Daten der bei den Versuchen verwendeten Kraftstoffeinspritzpumpe zusammengestellt. Die Abb.1 zeigt die Konstruktion der Einspritzpumpe, während die Abb.2 die Pumpe in mit dem Motor zusammengebautem Zustand zeigt.

2.3 Das bei unseren Versuchen verwendete Kraftstoffeinspritzventil

1) Das Einspritzventil für unsere Versuche mit zeitlich genau festgelegter Einspritzung (das automatisch arbeitende Einspritzventil)

Die Versuche mit zeitlich festgelegter Einspritzung (timing) haben wir ein automatisches Ventil der "pintle"-Bauart (Bosch DC-10-AORI) verwendet. Der Spritzlochdurchmesser dieses Ventils beträgt 1 mm und der Spritznebelwinkel $1,4^{\circ}$; entsprechend dem Zweck der Versuche haben wir von Fall zu Fall Düsenfedern mit verschiedenen Federkonstanten zum Zwecke der jeweiligen Einspritzdruckregulierung verwendet. Die Abb.3 zeigt die Konstruktion des bei unseren Versuchen verwendeten Einspritzventils und in der Tafel 3 sind die Federkonstanten der verschiedenen bei unseren Versuchen verwendeten Düsenfedern zusammengestellt

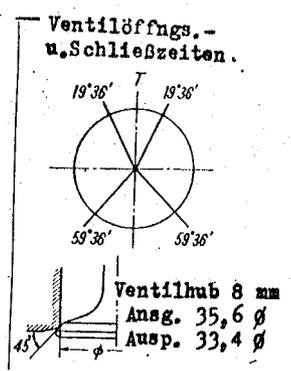
2) Das Einspritzventil für die Versuche mit kontinuierlicher Einspritzung (Einspritzventil der offenen Bauart)

In der hochdruckseitigen Einspritzleitung der Kraftstoffeinspritzpumpen sind für jeden einzelnen Zylinder Druckregelkammern (Fassungsvermögen 270 cm^3) vorgesehen; wenn man diese Druckregelkammer und das Einspritzventil der offenen Bauart in entsprechender Weise kombiniert, dann

Tafel 1

Die Hauptdaten des bei den Versuchen verwendeten Motors

Typenbezeichnung	FG4A-30
Bauart	oben gesteuerter, wassergekühlter Viertakt-Vierzylinder-Reihenbenzinmotor
Zylinderdurchmesser x Hub ges. Auspuffmenge	75 Ø x 75 mm 1482 ccm
Kompressionsverhältnis	8.5 : 1
Leistung d. Motors als Vergasermotor mit Kompressionsverhältnis 7.5:1	60 PS/4400 U/Min.
Zündsystem	Batteriezündung, Zündspule, Zündkerze B-54E (NGK)
Zündfolge	1-3-4-2



Tafel 2

Die Hauptdaten der Kraftstoffeinspritzpumpe

Bauart	Bosch PFM-2KL 50/7 Kolbenpumpe
Nocken	Tangentialnockenform, maxim. Hub 7mm
Kolben	Durchmesser 5 mm, Führung(?) 12,6mm
Mengenregelsystem	Unterdruckbetätigte Mengenregelung mit konstantem Spritzende

Tafel 3

Die Federcharakteristiken der Düsenfedern für das automatische Ventil

	①	②	③	④	⑤
Drahtdurchmesser	0.5 mm	0.5	0.4	0.35	0.26
eff. Windungszahl	8.0	7.5	6.5	8.0	9.0
Einspannlänge	9.5 mm	9.5	9.5	9.5	9.5
freie Länge	15.0 mm	14.5	14.5	14.5	14.5
komprim. Maß	6.0 mm	4.5	3.2	3.3	2.8
Federkonstante	0.29kg/mm	0.115	0.059	0.028	0.010
Einspritzdruck	40kg/cm ²	23	8	6	3

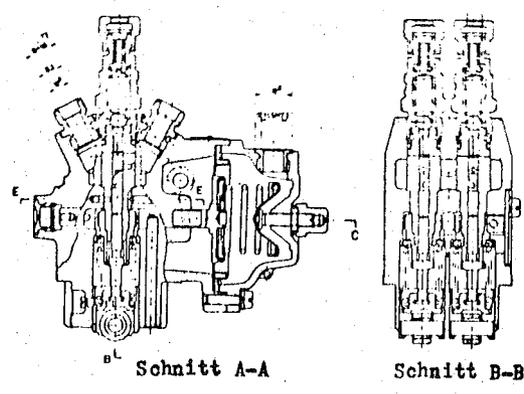


Abb.1 Die Konstruktion der bei unseren Versuchen verwendeten Benzineinspritzpumpe

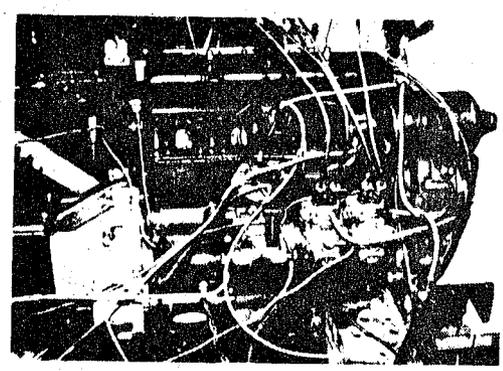


Abb.2 Der Anbau der Pumpen am Motor

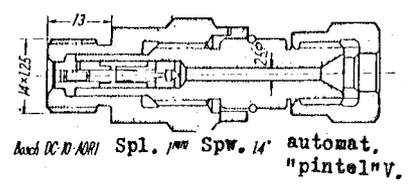


Abb.3 Das Einspritzventil für die Versuche mit zeitlich festgelegter (timed) Einspritzung

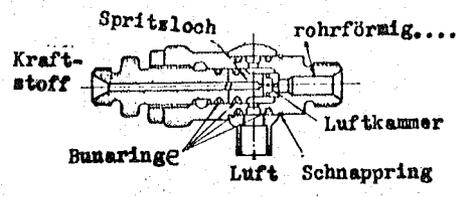


Abb.4 Die Konstruktion des offenen Einspritzventiles

wird die an der Einspritzpumpe eingestellte Kraftstoffmenge vom offenen Ventil aus ungefähr kontinuierlich eingespritzt. Bei unseren Versuchen verstehen wir unter kontinuierlicher Einspritzung eine Einspritzung mit der oben beschriebenen Einspritzanlage, das dabei verwendete Einspritzventil der offenen Bauart ist in der Abb.4 dargestellt. In der Nähe der Kraftstoffeinspritzöffnung (Einspritzloch von 0.3 mm Durchmesser oder Einspritzloch von 0.2 mm Durchmesser) ist eine Luftkammer vorgesehen; diese Luftkammer haben wir mit dem Ansaugschalldämpfer verbunden und so die Luft ansaugen lassen, dadurch wurde die Beeinflussung des vom Einspritzloch herkommenden Kraftstoffes durch die Schwankungen des Motoransaugunterdruckes erschwert und bei allen Betriebszuständen, ganz unabhängig vom jeweiligen Unterdruck in der Ansaugleitung, wurde auf diese Weise die durchströmende Kraftstoffmenge ausschließlich vom Druck des Kraftstoffes im Mengenregelsystem bestimmt.

Die Abb.5 zeigt die Versuchsanlage mit einer Druckregelkammer ausgerüstet, und die Abb.6 zeigt den Einspritznebel bei der Kombination von Druckregelkammer und offenem Einspritzventil.

2.4 Die Drucksteigerungspumpe

Bei einer Kraftstoffeinspritzpumpe der Schlitzbauart (port type) gibt es die Periode, bei welcher durch den Rückwärtshub des Pumpenkolbens in der Kompressionskammer ein Unterdruck erzeugt wird; diesem Umstand ist es zu verdanken, daß bei Verwendung eines Kraftstoffes von hoher Vergasungsfähigkeit leicht ein "vapour lock" erzeugt wird. Als Druck-

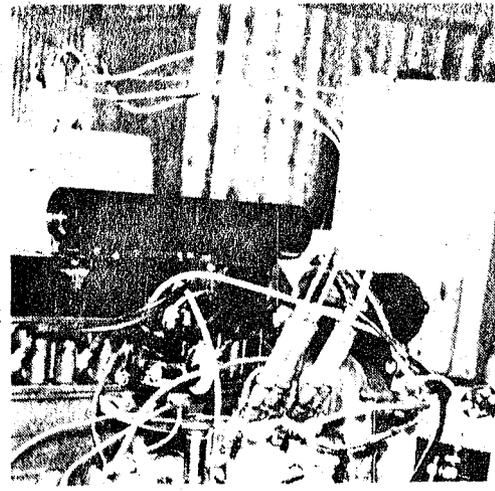


Abb.5 Die Anordnung der Druckregelkammer für die kontinuierliche Einspritzung

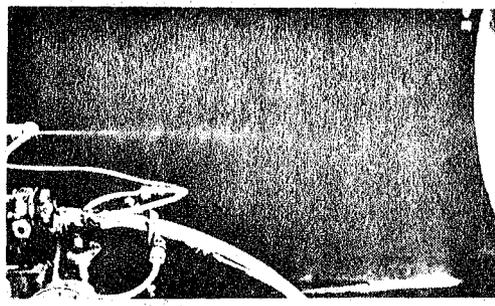


Abb.6 Der Spritznebel bei kontinuierlicher Einspritzung

Tafel 4

Die charakteristischen Daten des bei unseren Versuchen als Kraftstoff verwendeten Benzins

spez. Gewicht	0.74/15°C
Oktanwert	Oktanzahl 90 (Forschungsregel)
10% K	52°C
50 "	105°C
90 "	180°C

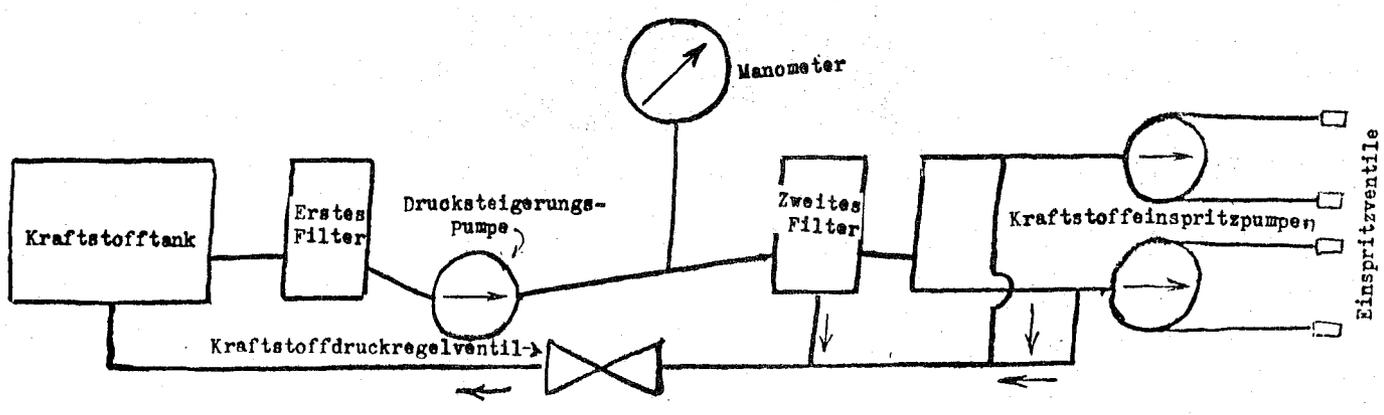


Abb.7 Schematische Darstellung des Kraftstoffeinspritzsystems

steigerungspumpe, welche die Aufgabe erfüllen soll, dies zu verhindern, haben wir die Kolbenpumpe der Bauart Bosch NFKKE-22AN verwendet und auf diese Weise haben wir dauern einen Druck des Kraftstoffes auf der Ansaugseite der Kraftstoffpumpe von 2 kg/cm^2 aufrechterhalten. Dadurch ist es gelungen, den bei Verwendung von Benzin als Kraftstoff auftretenden "vapour lock" vollständig zu vermeiden. Für die Druckregelung der Drucksteigerungspumpe haben wir ein Druckregelventil der Federkugelbauart (spring ball type) verwendet.

2.5 Der bei den Versuchen verwendete Kraftstoff

Das bei unseren Versuchen verwendete Benzin war das von der Erdölraffinerie der Jap.Petroleum-AG hergestellte "Gold-Benzin", die Daten dieses Benzins sind der Tafel 4 zu entnehmen.

3. Das Kraftstoffeinspritzsystem

Das bei unseren Versuchen angewandte Kraftstoffeinspritzsystem setzte sich aus zwei Kraftstoffeinspritzpumpen, vier Einspritzventilen, einer Drucksteigerungspumpe, zwei Kraftstoff-Filtern und einem Kraftstoffdruckregelventil zusammen. In der Abb.7 ist dieses System schematisch dargestellt. Das vom Kraftstofftank kommende Benzin wird durch das erste Filter (50 mesh) der Drucksteigerungspumpe zugeleitet. Nachdem nun der Kraftstoff hier in der Drucksteigerungspumpe auf einen Druck von 2 kg/cm^2 gebracht worden ist, wird er in einem zweiten Filter (150 mesh) erneut gefiltert. Nach dem Durchgang durch das 2. Filter wird das Benzin in der Kraftstoffeinspritzpumpe der Fördermenge nach und dem Zeitpunkt nach geregelt, auf hohen

Druck gebracht, dem Einspritzventil zugeleitet und eingespritzt. Der überschüssige Kraftstoff wird am zweiten Filter und an der Ansaugseite der Einspritzpumpe vorbeigeleitet (by pass) und über das Druckregelventil in den Kraftstofftank zurückgeführt. Dabei werden die im Kraftstoffsystem entstehenden Kraftstoffdämpfe, sowie die beigemischten Gasblasen (Luftblasen?) beseitigt. Um ein Festbrennen (ein Festfressen??) des Kolbens der Einspritzpumpe zu verhüten, wird von der Hauptölleitung des Motors über ein besonderes Filter eine kleine Menge des Motoröles dem Kolben zur Schmierung zugeführt.

4. Die Verfahren der Einspritzung in die Ansaugleitung

Durch entsprechende Kombination der bei unseren Versuchen verwendeten Anlage und des Einspritzsystems lassen sich die nachstehend aufgeführten Systeme der Einspritzung in die Ansaugleitung denken:

- | | |
|--|--|
| a) Die zeitlich festgelegte Einspritzung (timing) | Einspritzung in jeden einzelnen Zylinder
Sammeleinspritzung |
| b) Die kontinuierliche Einspritzung | Einspritzung in jeden einzelnen Zylinder
Sammeleinspritzung |
| c) Die halbkontinuierliche Einspritzung in jeden einzelnen Zylinder. | |

Die zeitlich festgelegte Einspritzung in jeden einzelnen Zylinder: Diese Art der Einspritzung erhält man dadurch, daß man im Zylinderkopf in der Nähe der Ansaugventile automatische Einspritzventile anordnet.

Die zeitlich festgelegte Sammeleinspritzung: Diese Art der Einspritzung erhält man dadurch, daß man vier automatische Einspritzventile an einer Stelle konzentriert und auf diese Weise schon vor dem Abzweigpunkt der Ansauglei-

tung einspritzt.

Die kontinuierliche Einspritzung in jeden einzelnen Zylinder: Diese Art der Einspritzung erhält man dadurch, daß man im Zylinderkopf in unmittelbarer Nähe des Ansaugventils ein Einspritzventil der offenen Bauart anbringt, und daß man zudem zu der Einspritzleitung auf der Hochdruckseite der Kraftstoffeinspritzpumpe hin eine Druckregelkammer (Druckausgleichkammer?) vorsieht.

Die kontinuierliche Sammeleinspritzung: Diese Art der Einspritzung erhält man dadurch, daß man die bei der kontinuierlichen Einspritzung in jeden einzelnen Zylinder gebrauchten vier Einspritzventile an einer Stelle vor dem Abzweigpunkt der Ansaugleitung konzentriert und dort einspritzt.

Die halbkontinuierliche Einspritzung in jeden einzelnen Zylinder: Diese Art der Einspritzung erhält man dadurch, daß man die bei der kontinuierlichen Einspritzung in jeden einzelnen Zylinder gebrauchte Druckregelkammer (Druckausgleichkammer?) wegläßt.

5. Die Versuchsergebnisse

Alle von uns durchgeführten Versuche hatten den Zweck, einen Vergleich der Vollast-Leistungskennlinien des Motors zu ermöglichen, und wir haben deshalb die Zündwinkelverstellung und die Kraftstoffdurchströmmenge so einreguliert, daß wir den Maximalwert der Leistung bekamen.

5.1 Die Leistung des Motors bei zeitlich festgelegter Einspritzung in jeden einzelnen Zylinder

Als Lage, in welcher man das Kraftstoffeinspritzventil be-

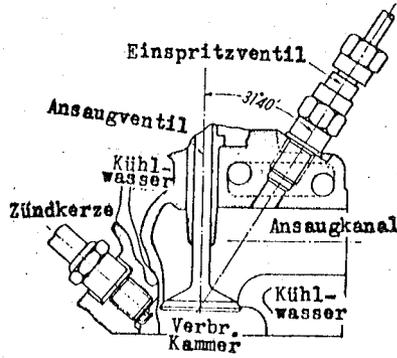


Abb.8 Die Einbaulage des Kraftstoffeinspritzventils

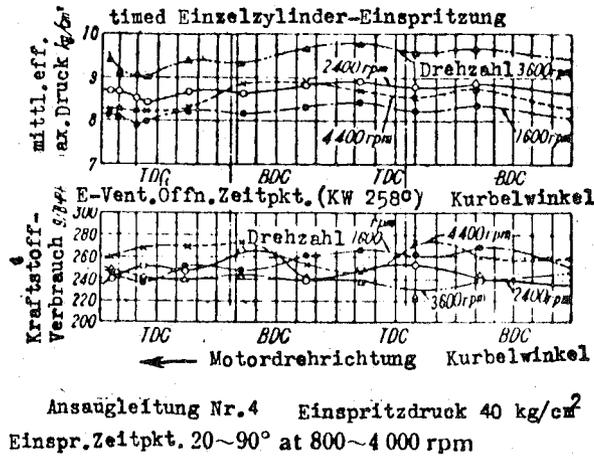


Abb.9 Der Kraftstoffeinspritzbeginn und die Leistung des Motors bei vollständig geöffneter Drosselklappe

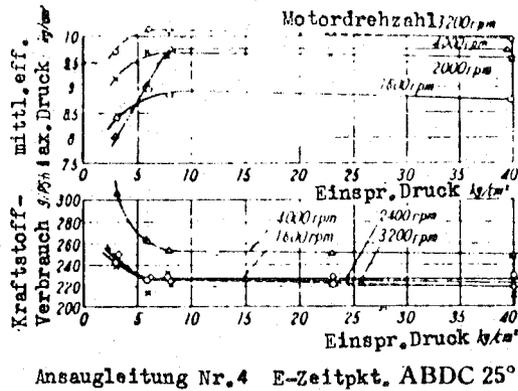


Abb.10 Der Kraftstoffeinspritzdruck und die Leistung des Motors bei vollständig geöffneter Drosselklappe

festigt, wird diejenige Lage genommen, in welcher man bei Einspritzen des Kraftstoffes die wirksamste Zerstäubung zur Verbrennungskammer hin erwarten zu dürfen glaubt, und man hat deshalb die Lage des Einspritzventiles so gewählt daß es mit dem Ventilschaft des Ansaugventils einen Winkel von $31^{\circ}40'$ bildet. Die Lage, in welcher das Einspritzventil befestigt ist, können wir aus der Abb.8 entnehmen. Mit Hilfe dieser Versuchseinrichtung haben wir für den Fall der zeitlich festgelegten Einspritzung in die einzelnen Zylinder den Einfluß des Kraftstoffeinspritzzeitpunktes, des Einspritzdruckes und der Form der Ansaugleitung auf die Leistungskennlinie bei Vollast untersucht.

1) Der Einfluß des Kraftstoffeinspritzbeginnzeitpunktes

Die Abb.9 zeigt die Leistungskennlinie des Motors in Abhängigkeit vom Spritzbeginnzeitpunkt, wobei man die Motordrehzahl als Parameter genommen hat. In diesem Falle hat man die Änderung des Kraftstoffeinspritzzeitpunktes dadurch erreicht, daß man den Eingriff des Zahnrades (der Zahnräder?) für den Antrieb der Einspritzpumpe änderte. Wir haben den Einspritzdruck mit 40 kg/cm^2 als konstant festgelegt und den Einspritzzeitpunkt im Bereich von 800 U/Min. bis 4000 U/Min. bei $20-90^{\circ}$ (Kurbelwinkel) genommen. Bei unseren Versuchen haben wir die Ansaugleitung 4 (vergleiche die Abb.14) benützt. Wie man aus der Abb.9 ersehen kann, ist ein ruhiger Lauf des Motors möglich, ganz einerlei, bei welchem Kurbelwinkel man auch eingespritzt hat; zudem hat man auch in der Leistung des Motors und im Kraftstoffverbrauch nahezu überhaupt keinen Unterschied festgestellt, ganz einerlei mit welcher Drehzahl der Motor betrieben wurde. Wenn man jedoch durch die Rege-

lung dafür sorgte, daß im Zeitpunkt der Öffnung des Ansaugventiles die gesamte Einspritzung vollendet war, dann zeigte sich eine Tendenz einer mehr oder weniger erheblichen Steigerung der Leistung des Motors. Die Tatsache, daß die Leistung des Motors durch den Kraftstoffeinspritzzeitpunkt nicht nennenswert beeinflußt wird, läßt sich dadurch erklären, daß am Einspritzventil der Kraftstoff zwar vernebelt wird, daß es sich jedoch bei dem praktisch an der Verbrennung beteiligten Kraftstoff in wesentlich stärkerer Maße um den infolge der Wärme der Verbrennungskammerinnenwände verdampfenden Kraftstoff handelt.

2) Der Einfluß des Kraftstoffeinspritzdruckes

Die Abb.10 zeigt die Motorleistung und den Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit vom Einspritzdruck, den man von 3 kg/cm^2 bis zu 40 kg/cm^2 änderte (man änderte zu diesem Zwecke die Federkonstanten der Feder des Druckförderventils der Einspritzpumpe und der Feder des Einspritzventils), die Motordrehzahl nahm man bei diesem Diagramm als Parameter. Auch in diesem Falle hat man in der gleichen Weise wie bereits oben erwähnt, als Ansaugleitung die Ansaugleitung Nr.4 benützt.

Wie man aus der Abb.10 ersieht, hat der Kraftstoffeinspritzdruck, wenn man von dem Einspritzdruck 3 kg/cm^2 absieht, einen nennenswerten Einfluß auf die Motorleistungskennlinie. Die Tatsache, daß bei dem Einspritzdruck von 3 kg/cm^2 ein äußerst starkes Absinken der Leistung erfolgt ist dadurch zu erklären, daß die Einspritzung bei der zu unseren Versuchen verwendeten Pumpe unregelmäßig wurde (vergleiche Abb.13).

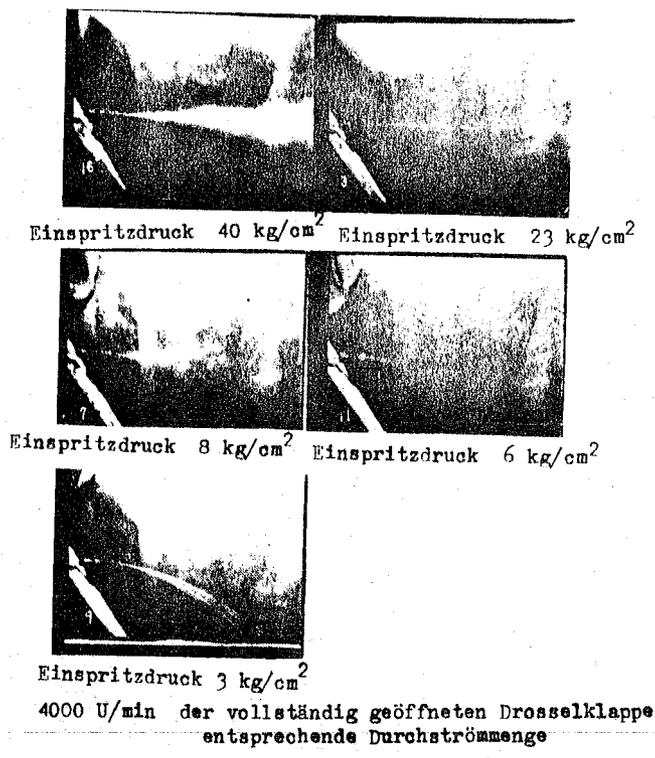


Abb.11 Der Spritznebel bei verschiedenen Einspritzdrücken

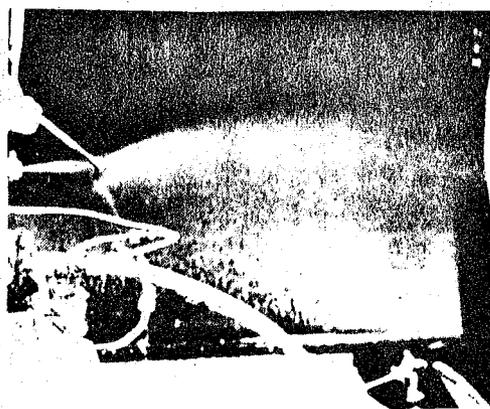


Abb.12 Der Spritznebel, gegen das Ansaugventil hin gerichtet.

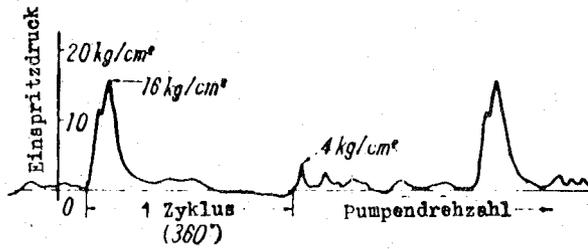
Die Abb.11 zeigt den Spritznebel bei den verschiedenen Einspritzdrücken zwischen 3 und 40 kg/cm² (entsprechend einer Motordrehzahl von 4000 U/Min. und einer Kraftstoffdurchströmung bei vollständig geöffneter Drosselklappe).

Bei einem Einspritzdruck von 3-8 kg/cm² haben wir nahezu überhaupt keine Vernebelung, der Einspritzstrom hat eher die Form eines Wasserstrahles, bei höher werdendem Einspritzdruck jedoch erhalten wir einen vollkommenen Vernebelungszustand. Die Abb.12 zeigt den Vernebelungszustand für den Fall, daß man den von dem Einspritzventil her kommenden Spritznebel zum Ansaugventil hin gerichtet hat. Die Abb.13 zeigt den Druck in der Einspritzleitung bei einem eingestellten Einspritzdruck von 3 kg/cm² (der Druck ist statisch einreguliert); man sieht aus dieser Abbildung daß diese Einspritzung äußerst unregelmäßig ist.

Wie wir den vorstehenden Darlegungen entnehmen können, ändert sich die Leistungskennlinie trotz der erheblichen Unterschiede im Spritznebelzustand bei den verschiedenen Einspritzdrücken im Bereich von 6-40 kg/cm² nur ganz wenig wir dürfen für diesen Umstand im wesentlichen den gleichen Grund annehmen, wie wir ihn bereits im Abschnitt 5.1, 1) dargelegt haben.

3) Der Einfluß der Form der Ansaugleitung

Bei unserer auf eine Steigerung der Leistung des Motors durch Anwendung eines Kraftstoffeinspritzsystemes abzielenden Entwicklungsarbeit hatten wir in der Wahl der Form der Ansaugleitung eine ganz wesentlich größere Freiheit als dies bei einem Vergasersystem der Fall ist. Dies bedeutet, daß der Widerstand der Ansaugleitung gering ist,



Einspritzdruck 3 kg/cm² (statisch geregelt)
Motordrehzahl 4 400 rpm

Abb.13 Die Druckwellenform in der Einspritzleitung

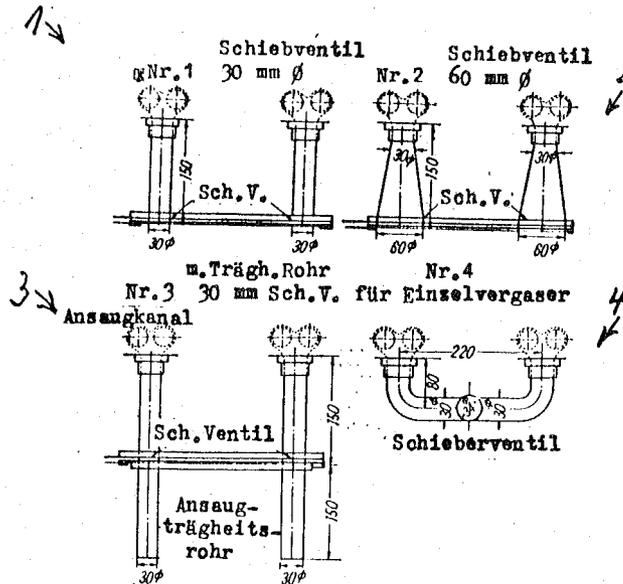


Abb.14 Die verschiedenen Formen der bei unseren Versuchen verwendeten Ansaugleitungen

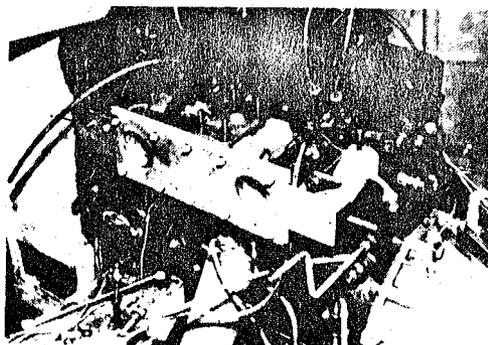


Abb.15 Der Anbau der Schieberventilansaugleitung am Motor

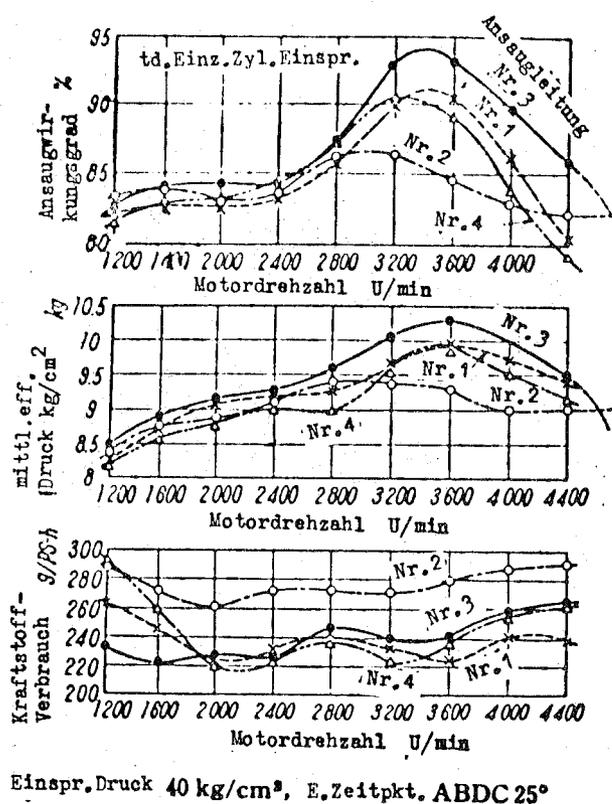


Abb.16 Der Einfluß der Form der Ansaugleitung

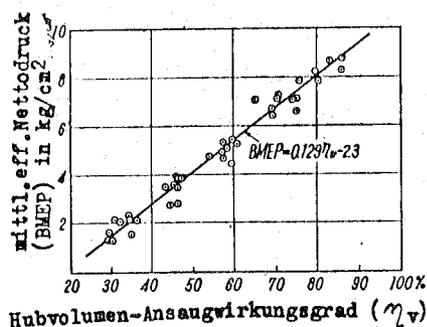


Abb.17 Der Zusammenhang zwischen BMEP und η_v

bzw. daß man ihre Form so gewählt hat, daß der Trägheitseffekt ausgenützt wird. Mit dem Ziel, beim Einleiten der Luft den Trägheitseffekt auszunützen, hat man versuchsweise eine Ansaugleitung der Schieberventilbauart (slide valve type) hergestellt; mit dieser und mit der für die Vergaseranlage vorgesehenen Ansaugleitung hat man vergleichende Untersuchungen der Motorleistung bei einem zeitlich festgelegten Einzelzylindereinspritzsystem durchgeführt; die Abb.14 zeigt die bei diesen Versuchen verwendeten Formen der Ansaugleitung. Die Abb.15 zeigt einen mit einer Ansaugleitung der Schieberventilbauart (slide valve type) ausgerüsteten Motor.

Die Abb.16 zeigt die Versuchsergebnisse, die wir bei einem Vergleich der Motorleistungen mit verschiedenen Ansaugleitungen erhalten haben. Die Steigerung der Motorleistung bei der Verwendung der Schieberventilansaugleitung (Nr.3) mit Trägheitsleitung ist ganz deutlich zu erkennen. Die kegelförmige Schieberventilansaugleitung (Nr.2) zeigt selbst bei einer Motordrehzahl von 4400 U/Min. keine Tendenz einer Leistungsabnahme. Es steht außer allem Zweifel, daß diese mit der Ansaugleitung zusammenhängende Leistungssteigerung der Verbesserung des Ansaugwirkungsgrades zu verdanken ist; die Abb.17 zeigt den von diesen Versuchsergebnissen her erstellten Zusammenhang zwischen BMEP (brake medium effective pressure?) und dem Ansaugwirkungsgrad.

5.2 Die Motorleistungskennlinie bei zeitlich festgelegter (timed) Sammeleinspritzung

Wie wir aus der Abb.18 ersehen, ist vor dem Abzweigpunkt der Ansaugleitung für Vergaser eine Leitung für Sammel-

einspritzung vorgesehen; dadurch, daß man die vier Einspritzventile an einer Stelle konzentriert angebracht hat, hat man ein zeitlich festgelegtes (timed) Sammeleinspritzsystem hergestellt.

Wenn man das Einspritzventil an jedem einzelnen Zylinder in der Nähe des Ansaugventiles anordnet, dann erhält man auch ohne weiteres eine zeitlich festgelegte (timed) Einzelzylindereinspritzung.

Die Abb.19 zeigt für den Fall der Verwendung einer Sammeleinspritzungsansaugleitung (Nr.5) den Vergleich der Motorleistung bei Sammeleinspritzung und bei Einzelzylindereinspritzung.

Wie man aus dieser Abbildung ersieht, ist zwischen diesen beiden Fällen hinsichtlich der Motorleistung nahezu überhaupt kein Unterschied festzustellen.

5.3 Die Motorleistung bei kontinuierlicher Einspritzung

Für diese Versuche haben wir die Ansaugleitung Nr.5 (vergleiche die Abb.18) verwendet. Bei Einspritzung für jeden einzelnen Zylinder ist das Einspritzventil in der Nähe des Ansaugventils angebracht (die in der Abb.8 dargestellte Lage); bei Sammeleinspritzung erfolgt die Einspritzung derart, daß vier Einspritzventile in der Sammeleinspritzleitung (Abb.18) zusammengefaßt werden.

Die Abb.20 zeigt einen Vergleich der Leistungskennlinien, die man mit den beiden Verfahren erhalten hat; dabei kann man zwar keine nennenswerten Unterschiede zwischen den nach den beiden Verfahren erhaltenen Werten feststellen, bei den höheren Drehzahlen jedoch ist eher eine Überlegen-

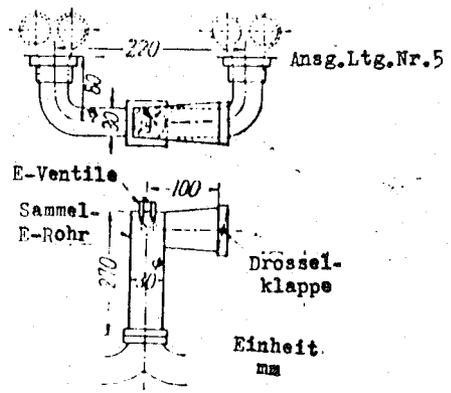


Abb.18 Die Ansaugleitung für die zeitlich festgelegte (timed) Sammeleinspritzung

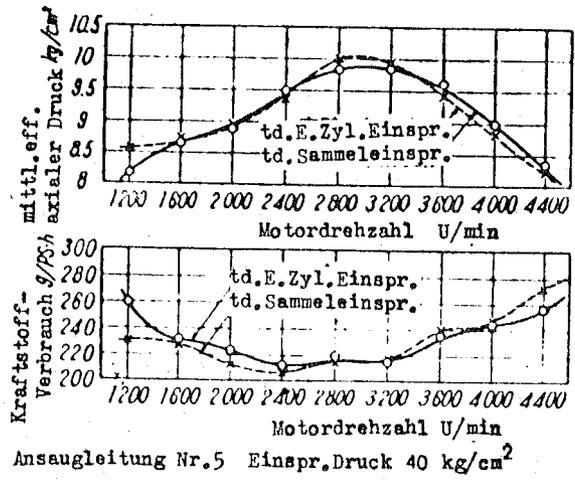
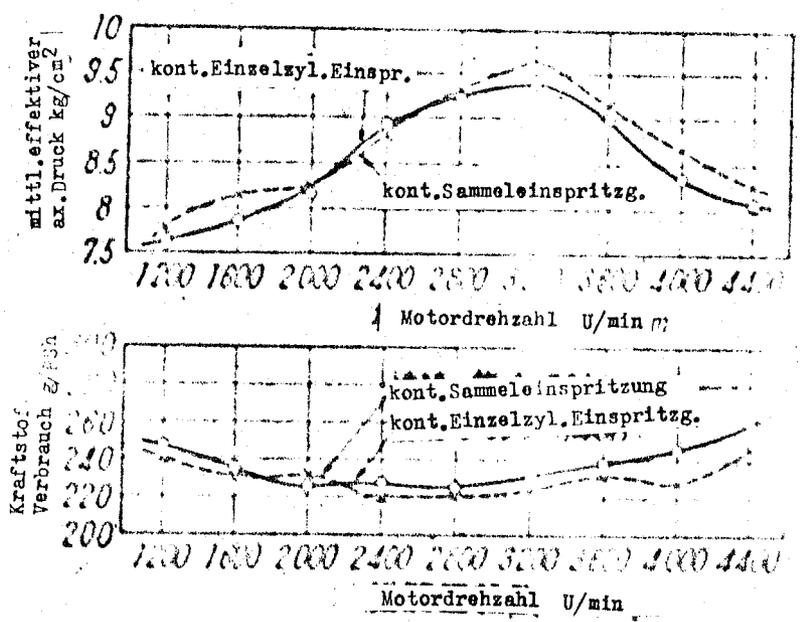


Abb.19 Der Vergleich zwischen der Sammeleinspritzung und der Einspritzung für jeden einzelnen Zylinder bei zeitlich festgelegter (timed) Einspritzung



Ansaugleitung Nr.5 Einspritzdruck 40 kg/cm²

Abb.20 Der Vergleich zwischen der Sammeleinspritzung und der Einspritzung für jeden einzelnen Zylinder bei kontinuierlicher Einspritzung

heit des Sammeleinspritzverfahrens in der Leistung zu bemerken als bei den mittleren Drehzahlen. Die hier aufgeführten Leistungswerte sind niedriger als bei zeitlich festgelegter (timed) Einspritzung.

5.4 Die Motorleistung bei halbkontinuierlicher Einzelzylindereinspritzung

Die Abb.21 zeigt die Leistungskennlinien bei halbkontinuierlicher Einspritzung, bei welcher man es so eingerichtet hat, daß die Kraftstoffeinspritzperioden sehr lang wurden. Wir haben in diesem Falle für unsere Versuche die Ansaugleitung Nr.5 genommen.

Beim Vergleich mit der Leistungskennlinie, die man mit einem zeitlich festgelegten (timed) Einspritzsystem für jeden einzelnen Zylinder erhalten hat, fällt zwar im Bereich der mittleren Drehzahlen und darunter ein mehr oder weniger starkes Absinken der Leistung auf, im Bereich der hohen Drehzahlen jedoch ist nahezu überhaupt kein Unterschied festzustellen.

5.5 Der Vergleich der Motorleistung bei Verwendung eines Vergasers einerseits und bei Anwendung der zeitlich festgelegten (timed) Einspritzung für jeden einzelnen Zylinder

Die Abb.22 zeigt den Vergleich der Motorleistung für den Fall, daß man einfach nur den Vergaser durch ein Einspritzsystem ersetzt hat. Bei diesem Vergleich haben wir die Ansaugleitung Nr.4 verwendet. Die wichtigsten Daten des bei diesen Versuchen verwendeten Vergasers sind in der Tafel 5 zusammengestellt.

Bei der Messung der Leistung haben wir den Vergaser und

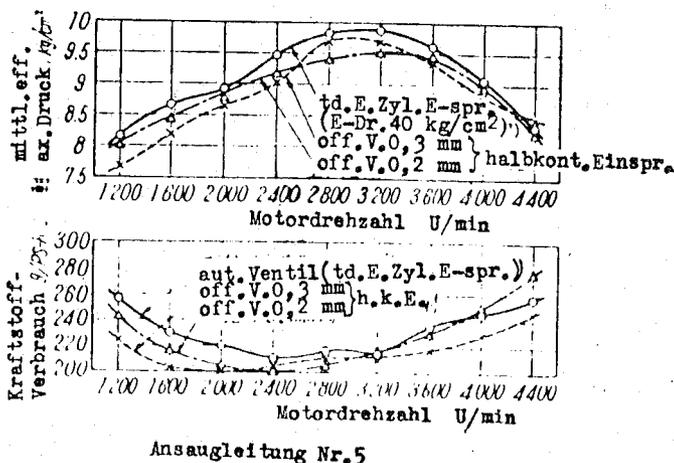


Abb.21 Die Motorleistung bei vollständig geöffneter Drosselklappe bei halbkontinuierlicher Einspritzung für jeden einzelnen Zylinder

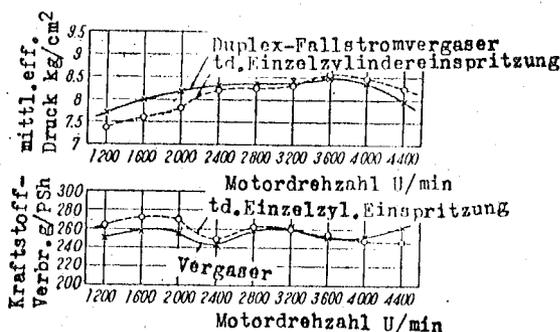


Abb.22 Der Vergleich der Motorleistung für den Fall, daß man den Vergaser einfach durch ein Kraftstoffeinspritzsystem ersetzt hat

Tafel 5

Die wichtigsten Daten des bei unseren Versuchen verwendeten Vergasers

Vergasertyp	2D-30B
Gasventildurchmesser	30 mm x 2
Venturidurchmesser	Primary 22 mm Secondary 23 mm
Blasrichtung Hersteller	nach unten, Duplex Nihon Kikaki K.K. (Jap. Verg. AG)

die Einspritzanlage im voraus zusammen am Motor angebracht und den Vergleich der Leistungskennlinien hat man einfach dadurch bekommen, daß man die Kraftstoffzufuhr umschaltet. Wie man aus der Abb. 22 ersehen kann, sind keine großen Unterschiede in der Leistungskennlinie zwischen den beiden Kraftstoffzufuhrsystemen festzustellen, im Bereiche der niedrigen Drehzahlen jedoch ist die Leistung beim Vergasersystem etwas höher. Hieraus können wir den Schluß ziehen, daß auch dann, wenn wir voraussetzen, daß in der Zukunft noch mehr oder weniger erhebliche Verbesserungen am Einspritzsystem erfolgen werden, bei einem einfachen Ersetzen des Vergasers durch ein Einspritzsystem vor der Saugrohereinspritzung eine Leistungssteigerung in größerem Maßstab nicht erwartet werden darf.

5.6 Die Kraftstoffzufuhrsysteme und die Motorleistung

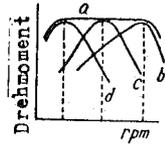
In der Tafel 6 haben wir die bis jetzt dargelegten Versuchsergebnisse in der Weise zusammenzufassen versucht, daß wir sie aufgeteilt haben in "maximal-BMEP" bei der Motordrehzahl 4400 U/Min." und "mittleren BMEP" (BMEP bedeutet wahrscheinlich "brake medium effective pressure?" Anm. d. Üb.). Unter dem mittleren BMEP ist der Mittelwert aus den BMEP-Werten innerhalb des Drehzahlbereiches zu verstehen, bei denen wir unsere Versuche durchgeführt haben; dadurch, daß wir diesen mittleren Wert mit dem maximalen BMEP bzw. mit dem BMEP-Wert bei 4400 U/Min. verglichen, bekamen wir die Möglichkeit, die Charakteristik der Leistungskurve des Motors zu beurteilen. Wenn also der mittlere BMEP-Wert groß war und wenn auch der maximale BMEP-Wert und der BMEP-Wert bei 4400 U/Min. (maximale Drehzahl) groß waren, dann dürften wir annehmen, daß die

Tafel 6

Der Vergleich der Motorleistungen bei den verschiedenen Kraftstoffzufuhrsystemen

Versuch No.	Kraftstoffzufuhrverfahren	Verwendete Ansaugleitung	maximal BMEP (At rpm)	BMEP bei 4400 U/min	mittl. BMEP $P_{me} = \frac{\int_{N_1:1200}^{N_2:4400} P_{me} dN}{N_2 - N_1}$ kg/cm ²
1	mit Vergaser	Nummer 4	8.5 kg/cm ² (3 600)	8.0 kg/cm ²	8.23 kg/cm ²
2	td.E.Zyl.Einspr.	Nummer 4 mit Vergaser	8.6 (3 600)	8.25	8.15
3	td.E.Zyl.Einspr.	Nummer 5	9.9 (3 000)	8.3	9.19
4	td.Sammeleinspr.	"	9.6 (3 200)	8.2	9.17
5	kont.E.Z.Einspr.	"	9.4 (3 000)	8.1	8.58
6	kont.Sammeleinspr.	"	9.65 (")	8.25	8.72
7	halbkont.E.Zyl. Einspr. off.V.O, 3 mm	"	9.75 (")	8.45	8.95

Bezeichng.	max. BMEP	4400 rpm ϕ BMEP	mittl. BMEP	Drehmom. kurve (BMEP)
a	groß	groß	groß	flache Form
b	klein	groß	groß	Hochdrehzahlform
c	groß	klein	groß	mittl. Drehzahlform
d	klein	klein	groß	niedr. Drehzahlform



Leistungscharakteristik dieses Motors über den gesamten Drehzahlbereich hinweg eine ausgebauchte BMEP-Kurve besaß daß wir also die für einen Fahrzeugmotor gewünschten Eigenschaften hatten.

Bei einem Leistungsvergleich zwischen Vergaser und zeitlich festgelegtem (timed) Einspritzsystem für jeden einzelnen Zylinder, bei vollkommen gleichem Ansaugsystem ergab (die Versuche Nr.1 und Nr.2) die Kraftstoffzufuhr mit Vergaser einen etwas höheren mittleren BMEP-Wert. Der Verlauf der BMEP-Kurve zeigte eine flache Form, man darf annehmen, daß dies auch mit der Charakteristik der Form der Ansaugleitung Nr.4 zusammenhängt.

Wenn wir die Versuche Nr.3,4,5 und 6 u.7 vergleichen, dann können wir sagen, daß die mittleren BMEP-Werte bei der zeitlich festgelegten (timed) Einspritzung für jeden einzelnen Zylinder (Versuch Nr.3) und bei der zeitlich festgelegten (timed) Sammeleinspritzung (Versuch Nr.4) höher sind als bei den anderen Versuchen. Der Verlauf der Drehmomentkurve zeigt zwar durchweg die Form, die wir bei den mittleren Drehzahlen haben, dies ist jedoch die Charakteristik der Ansaugleitung Nr.5 und hat nichts zu tun mit dem Kraftstoffzufuhrsystem, wie sich auch ganz klar aus dem Vergleich der Versuche Nr.2 und Nr.3 ergeben dürfte.

6. Schlußwort

Wie wir in der vorstehenden Arbeit dargelegt haben, darf man bei einem Viertaktmotor nicht ohne weiteres eine Leistungssteigerung und eine Verringerung des Kraftstoffverbrauches erwarten, wenn man einfach den Vergaser durch

ein Saugrohreinspritzsystem ersetzt hat. Um die Nutzwirkung der Kraftstoffeinspritzung in ausreichendem Maße im Sinne einer Steigerung der Leistung und einer Verringerung des Kraftstoffverbrauches zu entfalten, muß an eine Verbesserung der Ansaugleitung, an die Erzielung einer größeren Gleichmäßigkeit des auf die einzelnen Zylinder kommenden Kraftstoffgemisches und Hand in Hand damit auch an eine Erhöhung des Kompressionsverhältnisses gedacht werden. all dies ist jedoch keineswegs ausschließlich auf das Kraftstoffeinspritzsystem beschränkt, sondern man kann auf diesem Wege in der gleichen Weise auch eine Verbesserung für den Vergasermotor erreichen und es ist zu erwarten, daß man auf diesem Wege sowohl eine Steigerung der Leistung, wie auch eine Verringerung des Kraftstoffverbrauches erzielt.

Ausgehend von dem oben Gesagten können wir die von einem Saugrohreinspritzsystem für einen Funkenzündmotor zu erhoffende Leistungscharakteristik in die nachstehenden beiden Punkte zusammenfassen:

- 1.) Für einen schnellaufenden Motor hoher Leistung eine Verbesserung des Kraftstoffverbrauches bei den niedrigen Drehzahlen.
- 2.) Eine Verbesserung des Ansprechens des Motors beim Beschleunigen (die nicht stationäre Leistungscharakteristik).

Zum Schluß unserer Arbeit wollen wir nicht versäumen, allen Herrn, die uns dabei durch wertvolle Hinweise oder durch tatkräftige Mithilfe unterstützt haben, unseren herzlichsten Dank auszusprechen.

Literaturhinweise

- 1) A.H.Winkler and R.W.Sutton: "The Bendix Electrojector Provides Timed Intake Port Fuel Injection A.I.Febr.15.(1957).
- 2) G.M's Fuel-Injection System. SAE Journal April 1957.
- 3) Mercedes Benz Instruction (300 D)
- 4) Mercedes Benz Instruction (220 SE)