

ar für d... auch innerhalb der
Universität Stuttgart bestimmt.

ne Genehmigung
staltet
e nur durch
setzer

av Kraut
mbronn
n Gäble 16

Übersetzung aus der japanischen Zeitschrift

"Nainen Kikan" (Die Brennkraftmaschine)

Band 9, Heft Nr.94, März 1970, Seite 36 - 41

Eine elektronische Kraftstoffeinspritzanlage

von H.Noguchi,
T.Sakamoto
und T.Sasaki

Firma Mitsubishi Denki K.K.

1. Vorwort

Bei dem immer stärkeren Anwachsen der Großstädte im Laufe der letzten Jahre wird der öffentlichen Gefährdung in den Großstädten eine immer größere Beachtung geschenkt; hierbei wird vorallem auf die Auspuffgase der Kraftfahrzeuge hingewiesen, welche einen wichtigen Faktor für diese Gefährdung darstellen.

Ungefähr im Jahre 1940 wurde in Kalifornien erstmals das Auftreten des "Smog" festgestellt, und man hat die Entstehung dieses "Smog" so zu erklären versucht, daß zwischen den von den Kraftfahrzeugen ausgepufften NOx-Gasen und HC-Gasen und den Sonnenstrahlen eine fotochemische Reaktion stattfindet. Diese Feststellung war der Anlaß dafür, daß in Kalifornien vom Jahre 1966 an und für ganz Amerika vom Jahre 1968 an eine gesetzliche Festlegung der noch zulässigen Konzentration der in den Auspuffgasen der Kraftfahrzeuge enthaltenen CO-Gase und HC-Gase erfolgte; heute ist die Tendenz vorhanden, daß die in dieser Vorschrift festgelegten Werte von Jahr zu Jahr strenger werden. Bei uns hier in Japan sieht die Luftverunreinigung freilich etwas anders aus als in Amerika, was zur Zeit bei den Auspuffgasen der Kraftfahrzeuge auch bei uns hier in Japan einer

gesetzlichen Regelung unterliegt, ist lediglich der CO-Gehalt; es ist jedoch zu erwarten, daß dieses Problem auch bei uns in der Zukunft ebenso streng gehandhabt werden wird wie in Amerika. Die gesetzlich vorgeschriebenen Werte sind zum Vergleich in der Tafel 1 zusammengestellt.

Heute ist die Reinigung der Auspuffgase der Kraftfahrzeuge bereits zum obersten Gesetz für die Kraftfahrzeughersteller geworden, die Ergebnisse, die in dieser Richtung erzielt werden, sind entscheidend für den Fortbestand der Brennkraftmaschine als Antrieb für die Kraftfahrzeuge. Um diesen Zweck zu erreichen, sind deshalb bereits alle möglichen Auspuffgasreinigungsverfahren entwickelt und in die Praxis eingeführt worden; in der neuesten Zeit ist man allenthalben auf die Kraftstoffeinspritzanlagen aufmerksam geworden als ein wirksames Mittel zur Reinigung der Auspuffgase.

Ursprünglich ist die Kraftstoffeinspritzanlage als ein System um einer Brennkraftmaschine den Kraftstoff zuzuführen, nahezu gleichzeitig mit dem Vergaser erfunden worden; bei der Einspritzanlage haben wir jedoch ein ganz besonderes System, nach welchem der Kraftstoff durch eine mechanisch arbeitende Kraftstoffpumpe eingespritzt wird und eine genaue Steuerung dieser Einspritzung über den gesamten Belastungsbereich des Motors hinweg erfordert einen außerordentlich komplizierten Mechanismus bei der Einspritzpumpe, der natürlich eine ganz erhebliche Steigerung der Gesteuerungskosten bedeuten würde. Derartige Maßnahmen haben deshalb, wenn man von den Motoren für Sportwagen und Rennwagen absieht, bei denen es ja auf eine hohe Leistung des Wagens ankommt, bis heute noch keine Verbreitung gefunden.

Das rasche Fortschreiten der Elektronik in unseren Tagen hat uns jedoch die Möglichkeit gegeben, eine Senkung dieser Kosten dadurch zu erreichen, daß man die Steuerung der Kraftstoffeinspritzung auf elektronischem Wege durchführt. Dadurch, daß man ein ideales Muster für die Reinerhaltung der Auspuffgase in eine elektronische Steuerungsanlage (Solid state Computer) einspeichert, hat man die Möglichkeit, die Einspritzmenge auf das genaueste anzupassen.

Diese elektronische Kraftstoffeinspritzanlage ist im Jahre 1967 erstmals von der deutschen Firma Bosch zum Einbau in die für die Ausfuhr nach Amerika bestimmten Volkswagen VW 1600 fertigungsreif gemacht worden, und in der Zwischenzeit ist diese Anlage bereits in viele verschiedene Wagentypen eingebaut worden. Im Hinblick auf die Tatsache, daß die elektronische Kraftstoffeinspritzanlage heute bereits von der Entwicklungsstufe zur Mengenfertigungsstufe vorwärts geschritten ist, kann man sagen, daß damit die Möglichkeit der praktischen Verwirklichung einer elektronischen Kraftstoffeinspritzanlage aufgezeigt worden ist.

In der vorliegenden Arbeit soll nun die von unserer Firma entwickelte elektronische Kraftstoffeinspritzanlage in ihren wesentlichen Punkten vorgestellt werden.

2. Das Prinzip und der Aufbau der elektronischen Kraftstoffeinspritzanlage

2.1 Überblick

Wir haben für diese Einspritzanlage das System der Saugrohreinspritzung angewandt, bei welchem der auf einen ganz bestimmten Druck gebrachte Kraftstoff in die Ansaugleitung eingespritzt wird. Dieses System unterscheidet sich vom

Direkteinspritzsystem, bei welchem der Kraftstoff unmittelbar in den Zylinder eingespritzt wird, durch folgende Punkte:

1) Die Saugrohreinspritzung bietet die Möglichkeit, den Kraftstoff mit niedrigem Druck einzuspritzen, und somit ist der Aufwand an Antriebskraft um den Kraftstoff unter Druck zu setzen, nur ganz gering;

2) die konstruktiven Bedingungen, welche an die Festigkeit und die Genauigkeit der zum Aufbau des Kraftstoffsystems gehörenden Teile gestellt werden müssen, sind verhältnismäßig leicht zu erfüllen;

3) die störenden Einflüsse auf die Düse, wie sie durch das Festsetzen von Verbrennungsrückständen, durch Einbrennen (?) oder dergleichen hervorgerufen werden, sind nur ganz gering.

Man kann somit zusammenfassend sagen, daß die Kosten niedriger und die Betriebszuverlässigkeit höher sind; wie wir aus den in der Abb.1 dargestellten experimentellen Ergebnissen ersehen können, ist der Einfluß des Einspritzzeitpunktes nur äußerst gering und selbst dann, wenn man in 2 oder 3 Zylinder gleichzeitig einspritzt, das System vereinfacht und die Steuerung erleichtert, dann konnte, wie die Versuche gezeigt haben, keinerlei Absinken der Leistung festgestellt werden; aufgrund dieser experimentell festgestellten Tatsachen haben wir bei der von uns für einen Vierzylindermotor entwickelten Anlage abwechslungsweise immer gleichzeitig für 2 Zylinder eingespritzt.

Die Kraftstoffeinspritzung erfolgte dabei nach den mit elektromagnetischen Einspritzventilen arbeitenden inter-

mittierenden Einspritzsystem. Das heißt also, der auf einen ganz bestimmten Druck gebrachte Kraftstoff wird durch die konstante Querschnittsfläche eines durch einen Solenoiden geöffneten Ventiles nur während das Ventil geöffnet ist, eingespritzt. Die Einspritzmenge braucht also nicht gesteuert zu werden, indem man den Druck des zugeführten Kraftstoffes wie bei einem kontinuierlichen Einspritzsystem ändert, oder indem man die Öffnungsquerschnittsfläche des Ventiles ändert, sondern man kann die Steuerung der Kraftstoffeinspritzmenge auf leichte und dazu sehr genaue Weise erreichen, indem man lediglich die Zeitdauer der Ventilöffnung steuert.

Die optimalen Werte der Kraftstoffeinspritzdauer werden in dem jeweils gegebenen Betriebszustand des Motors durch eine elektronische Steuereinrichtung (Computer) in der Form elektrischer Signale festgelegt und diese elektrischen Signale werden als Erregungssignale den Solenoiden der Kraftstoffeinspritzventile zugeleitet und die Ventile werden für eine ganz bestimmte vorgeschriebene Zeit geöffnet.

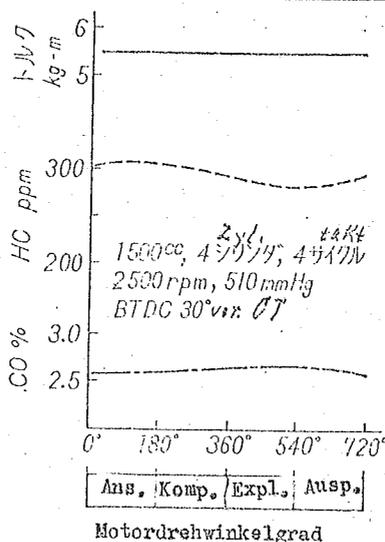


Abb. 1 Die Charakteristik der Leistung und der Auspuffgase in Abhängigkeit vom Kraftstoffeinspritzzeitpunkt

Tafel 1

Die für die Auspuffgase bei Personenkraftwagen vorgeschriebenen Werte

Gegenstand \ Jahr	1966	1967	1968	1969	1970	1971
Kalifornien	2 300 cc und mehr CO 1.5% HC 275ppm		820~1 640 cc CO 2.3% HC 410 ppm 1 640~2 300 cc CO 2.0% HC 350 ppm		820 cc 以上 CO 23 g/Meile HC 2.2 g/Meile NOx 4.0 g/Meile	
Ganz Amerika (außer Kalifornie)	—		2 300 cc und mehr CO 1.5% HC 275 ppm		820 cc 以上 CO 23 g/Meile HC 2.2 g/Meile	
H Japan 本	—	360 cc und mehr CO 3% seit Sept. 1966		360 cc und mehr CO 2.5% → seit Sept. 1966		

Als Verfahren zur Festlegung der zugeführten Kraftstoffmenge haben wir die Kombination der Motordrehzahl und des Absolutwertes des Druckes in der Ansaugleitung genommen. Wir haben dies deshalb getan, weil wir bei unseren Überlegungen davon ausgegangen sind, daß die angesaugte Luftmenge bei der üblicherweise angewandten Kombination von Motordrehzahl und Gaspedalöffnung mittelbar für die jeweilige Stellung des Gaspedales festgelegt wird und weil wir deshalb, wenn sich die festgelegten Werte etwa durch die Verschmutzung des Luftfilters, durch die Schwankungen des äußeren Luftdruckes oder durch allzu großes Spiel (wörtlich: "wackeln") im Gestänge des Gaspedales usw. ändern, eine genaue Steuerung nicht erwartet werden kann.

Bei der von uns entwickelten Kraftstoffeinspritzanlage gibt es im Vergleich mit den bisher gebräuchlichen Kraftstoffeinspritzanlagen dank der Tatsache, daß im Kraftstoffsystem die Einspritzventile elektromagnetisch betätigt werden, keine vom Motor selbst angetriebenen Teile. Man hat daher beim Anbau der Anlage am Motor einen hohen Grad von Freiheit, und dadurch, daß man im Steuerungssystem

kein mit roher Gewalt arbeitendes mechanisches System hat, sondern statt dessen ausschließlich elektronische Teile und elektronische Stromkreise anwendet, sind die Steuerleistung und die Ansprechempfindlichkeit im Hinblick auf die komplizierte Charakteristik der Bedürfnisse des Motors sehr hoch und gleichzeitig werden die Abmessungen der ganzen Anlage und ihrer einzelnen Teile viel kleiner und die Betriebszuverlässigkeit wird wesentlich höher; in all den aufgezählten Punkten unterscheidet sich die von uns entwickelte Kraftstoffeinspritzanlage grundlegend von den bisher gebräuchlichen Anlagen.

2.2 Das Grundprinzip der Kraftstoffeinspritzung

Der Zweck dieses Kraftstoffeinspritzsystemes ist es, dem Motor diejenige Kraftstoffmenge zuzuführen, welche bei der in den Zylinder eingesaugten Luftmenge für die Herstellung des durch den Betriebszustand des Motors zu dem gegebenen Zeitpunkt bestimmten optimalen Gemischverhältnisses erforderlich ist.

Die Grundlage für die Bestimmung dieser zuzuführenden Kraftstoffmenge ist das Gewicht der angesaugten Luft. Um also das Ansauggemischverhältnis mit hoher Genauigkeit zu regeln, braucht man also lediglich das Gewicht der bei jedem einzelnen Hub in den Zylinder eingesaugten Luft genau zu kennen, und als einen Faktor für die Messung dieses Luftgewichtes kann man den Druck in der Ansaugleitung anführen. Dies bedeutet also, daß man für einen Benzinmotor, und insbesondere für einen Viertaktbenzinmotor annehmen darf, daß, da ja jeder einzelne Zylinder dieses Benzinmotors als eine Pumpe mit konstantem Auspuffvolumen angesehen werden kann, das bei jedem Ansaughub in den Zylinder

einströmende Luftvolumen ungefähr gleich dem Auspuffvolumen des Zylinders ist. Dabei ist das Luftgewicht

$$W = KV \frac{H - 0.378 P_W}{760} \dots\dots\dots (2.1)$$

Hierin sind W: das Gewicht der angesaugten Luft (kg)

K: das spezifische Gewicht der Luft im Augenblick der Messung (kg/m³)

V: das Auspuffvolumen des Zylinders (m³)

H: der Ansaugluftdruck (mmHg)

P_W: der Wasserdampfdruck (mmHg).

Wenn wir, ausgehend von der Tatsache, daß bei uns hier in Japan der Wasserdampfdruck in der im allgemeinen anzutreffenden Atmosphäre schlimmstenfalls ungefähr 40 mmHg beträgt, den Einfluß dieses Wasserdampfdruckes vernachlässigt, dann erhalten wir für das Gewicht der angesaugten Luft die Gleichung

$$W = KV \times \frac{H}{760} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dies bedeutet also, daß das Gewicht der angesaugten Luft zum Ansaugluftdruck proportional ist. Somit kann also das Gewicht der in den Zylinder hineingesaugten Luft bei allen Drehzahlen des Motors gemessen werden, indem man es durch die Änderung des Ansaugluftdruckes ersetzt.

Andererseits wird die für dieses gemessene Ansaugluftgewicht das optimale Gemischverhältnis ergebende zuzuführende Kraftstoffmenge durch die für jeden einzelnen Zylinder in die Ansaugleitung eingebauten elektromagnetischen Einspritzventile gesteuert. Die Charakteristik dieser elektromagnetischen Einspritzventile soll in einem späteren Abschnitt im einzelnen erklärt werden, ihre wesentliche Arbeitsweise besteht darin, daß sie eine Öffnung mit konstanter Querschnittsfläche durch den Solenoiden öffnen und schließen. Wenn also diese Öffnung geöffnet worden ist, dann ist das

Gewicht des hier in der Zeiteinheit durchströmenden Kraftstoffes durch die nachstehende Gleichung gegeben

$$M = \alpha A \sqrt{2gr(H_1 - H_2)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Hierin sind

- M: das Gewicht des durchströmenden Kraftstoffes (kg/s)
- α : der Strömungsmengenkoeffizient der Öffnung
- A: die Querschnittsfläche der Öffnung (m²)
- g: die Erdbeschleunigung (9.8 m/s²)
- r: das spezifische Gewicht des Kraftstoffes (kg/m³)
- H₁: der Druck vor der Öffnung (im Oberlauf der Öffnung) (kg/m²)
- H₂: der Druck nach der Öffnung (im Unterlauf der Öffnung) (kg/m²).

Da in der Gleichung (2.3) die Größen α , A, g und r Konstanten sind, können wir das erforderliche Kraftstoffgewicht durch nachstehende Gleichung ausdrücken.

$$M' = Mt = K \sqrt{H_1 - H_2} \times t \dots\dots\dots(2.4)$$

- Hierin sind M': das erforderliche Kraftstoffzuführungsgewicht (kg)
- K: eine Konstante
- t: die Zeit, während der die Öffnung geöffnet ist (s).

Somit ist also dieses erforderliche Kraftstoffgewicht proportional zur Öffnungszeit des Ventiles und proportional zum Quadrat (dem Sinn nach müßte es hier eigentlich heißen zur Quadratwurzel; vielleicht ist hier ein Druckfehler im japanischen Original. Anmerkung d. Übersetzers) der Differenz der an den beiden Enden der Öffnung wirkenden Drücke. Wenn nun vor (an der Oberlaufseite) der Öffnung Kraftstoff vorhanden ist, den man auf einen immer gleichbleibenden Druck gebracht hat, und wenn der Druck in der Ansaugleitung festliegt, dann ist das Gewicht des zuzuführenden Kraftstoffes lediglich eine Funktion der Zeit.

Um die richtige Kraftstoffeinspritzmenge zu bekommen, wird in der oben beschriebenen Weise das Gewicht der bei jedem

einzelnen Hub in den Zylinder hineingesaugten Luftmenge in Form der Änderung des Ansaugluftdruckes abgegriffen und gleichzeitig wird dieser abgegriffene Wert durch eine elektronische Steuereinrichtung (Computer) in eine Erregungszeitamplitude (Erregungszeitbreite), welche dem für diese Ansaugluftmenge optimalen zuzuführenden Kraftstoffgewicht entspricht, umgeformt und bei jedem einzelnen Hub des Zylinders auf das elektromagnetische Einspritzventil übertragen. Auf diese Weise wird dem Zylinder das bei jedem Betriebszustand des Motors jeweils genau richtige Gasgemisch zugeführt.

Wenn bei dieser Kraftstoffeinspritzanlage das optimale Gemischverhältnis bei allen Betriebszuständen des Motors festliegt, dann kann man, wie leicht einzusehen ist, aufgrund der Gleichungen (2.2) und (2.4) den Umformungskoeffizienten (Ansaugluftdruck-Ventilöffnungszeitamplitude) der elektronischen Steuereinrichtung (Computer) theoretisch ohne Schwierigkeiten finden. Bei einem praktisch laufenden Motor jedoch kommen hier eine ganze Reihe verschiedener Änderungsfaktoren dazwischen, welche die Steuerung erheblich schwieriger machen.

Als wichtigster dieser Faktoren wird der Einfluß der je nach der Form und Bauart und je nach dem besonderen Eigenschaften des Motors sich stark ändernden Motordrehzahl angeführt. Da bei einem praktisch laufenden Motor die Messung des Gewichtes der in den Zylinder hineingesaugten Luftmenge außerordentlich schwierig ist, so wird sie durch die Messung des Druckes in der Ansaugleitung ausgeführt. Deshalb kommen durch die Änderung der Öffnungs- und Schließzeiten (timing) der Ansaugventile und der Auspuffventile

sowie durch die Änderung der Trägheitswirkung der Ansaugluft und die Änderung der im Zylinder zurückbleibenden Auspuffgase usw. viele Faktoren herein, die sich mit der Motordrehzahl ändern, dies hat zur Folge, daß zwischen dem tatsächlichen Gewicht der angesaugten Luftmenge und dem gemessenen Wert Abweichungen auftreten.

Die letztliche theoretische Klärung aller dieser Fehler ist im gegebenen Zeitpunkt außerordentlich schwierig.

Bei einem Motor der üblichen Bauart zeigt das die maximale Leistung, den kleinsten Kraftstoffverbrauch und die besten Auspuffgase ergebende Gemischverhältnis selbst bei einem und demselben Betriebszustand doch jeweils verschiedene Werte. Demzufolge ist natürlich der Wert des optimalen Gemischverhältnisses verschieden, je nachdem, welcher Charakteristik man das schwerste Gewicht beimißt. In den Abb. 2 und 3 haben wir als Beispiele die experimentell erhaltenen Werte für diese Zusammenhänge dargestellt.

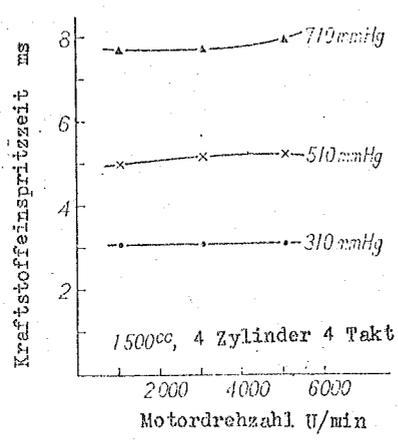


Abb. 2 Die optimale Einspritzzeit beim maximalen Drehmoment

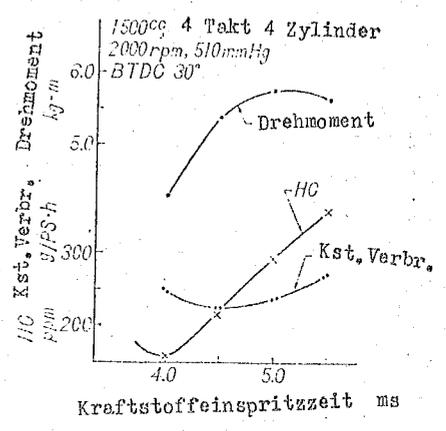


Abb. 3 Die Motorleistungs-kennlinien in Abhängigkeit von der Kraftstoffeinspritzzeit

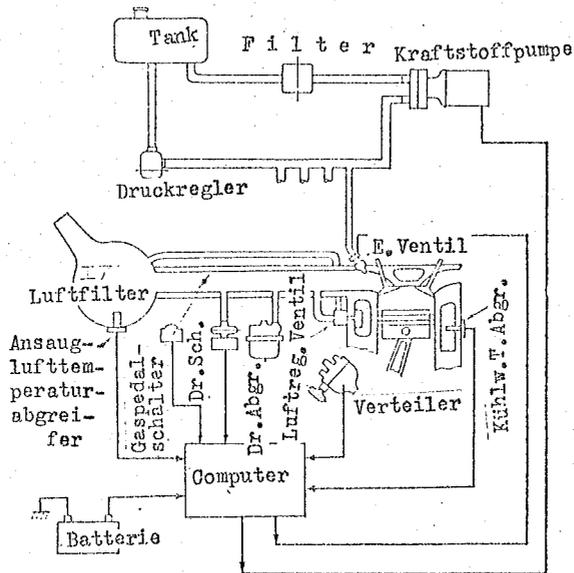


Abb.4 Der gesamte Aufbau der Anlage

Diese Kraftstoffeinspritzanlage ist in ihrem Prinzip einzigartig und auch in ihrem Mechanismus ganz einfach; der Betriebszustand des Motors selbst jedoch kommt durch sehr viele sich ändernde Faktoren und durch die Kompromisse des Experimentes zustande; um deshalb eine Steuerung von hoher Genauigkeit durchführen zu können, braucht man eine ganze Reihe verschiedener Hilfseinrichtungen (Hilfsapparate?). Bei der hier beschriebenen Kraftstoffeinspritzeinrichtung sind diese Punkte berücksichtigt worden und es soll im folgenden der gesamte Aufbau dieser Kraftstoffeinspritzanlage beschrieben werden.

2.3 Der gesamte Aufbau

Der gesamte Aufbau der elektronischen Kraftstoffeinspritzanlage ist in der Abb.4 dargestellt.

Wenn wir dieses ganze System im großen aufteilen wollen, dann können wir von einem Kraftstoffsystem, einem Luftsystem und einem elektrischen System sprechen.

Das sich in einem Kraftstofftank befindende Benzin passiert

ein Kraftstofffilter und wird durch eine von einem Elektromotor angetriebene Kraftstoffpumpe unter Druck gesetzt und zum Kraftstoffeinspritzventil gefördert. Der Kraftstoffdruck in diesem Kraftstoffeinspritzventil wird durch einen Druckregler dauernd auf dem konstanten Wert von 2 kg/cm^2 gehalten, wobei das überschüssige Benzin wieder in den Kraftstofftank zurückgeleitet wird.

Die Ansaugluft wird über ein Luftfilter in einer der jeweiligen Öffnung einer mit dem Gaspedal gekuppelten Drosselklappe entsprechenden Menge in den Motor hineingesaugt. Da das bei einem Vergaser unentbehrliche Ansaugluftventuri nicht vorgesehen zu werden braucht, ist hier der Luftansaugwirkungsgrad besser und es ist eine Steigerung der Motorleistung möglich. Das Luftkraftstoffgemisch kommt bei dieser Einrichtung in der Ansaugöffnung unmittelbar hinter dem Ansaugventil jedes einzelnen mit einer Einspritzdüse ausgerüsteten Zylinders zustande.

Bei der hier beschriebenen Einrichtung ist ein die Wirkung eines "auto choke" ausübendes Luftmengenregelventil eingebaut worden. Bei kaltem Motor braucht man ein fettes Gasgemisch, während man im Leerlauf um ein glattes Weiterlaufen des Motors zu gewährleisten, eine übernormal große Luftmenge braucht.

Diese Arbeit der Erhöhung der Ansaugluftmenge wird von dem Luftmengenregelventil ausgeführt. Dieses Ventil ist so aufgebaut, daß seine Ventilöffnung mit Hilfe eines Bimetallstreifens entsprechend der Kühlwassertemperatur des Motors geändert wird; die eine Seite des Ventils ist mit dem Luft-

filter verbunden, während seine andere Seite an das Innere der Ansaugleitung angeschlossen ist. Bei niedriger Kühlwassertemperatur, d.h. also bei kaltem Motor, wird das Luftmengenregelventil weiter geöffnet, so daß die Ansaugluft vom Luftfilter her unmittelbar in das Innere der Ansaugleitung durchgeleitet (bypass) wird, so daß man also eine Erhöhung der Luftmenge erhält. (Dieser Text entspricht genau dem japanischen Original. Anmerkung d. Übersetzers).

Das Kraftstoffeinspritzventil wird durch die von der elektronischen Steuereinrichtung (Computer) ausgesandten Stromimpulse bei jeder Umdrehung der Nockenwelle des Motors einmal betätigt. Die Dauer dieser Stromimpulse wird durch den Wert der Ausgangssignale der den Betriebszustand des Motors abgreifenden, verschiedenen, mechanisch-elektrischen Umformer bestimmt.

Dieses elektrische System soll nun noch im einzelnen erklärt werden. Die Grundlage der Steuerung ist bereits im vorhergehenden Abschnitt dargelegt worden, der wichtigste Teil der Steuerung wird durch den Absolutwert des Druckes in der Ansaugleitung und durch die Motordrehzahl ausgeführt.

Dieser Absolutwert des Druckes in der Ansaugleitung wird durch einen Druckabgreifer abgegriffen. In diesem Druckabgreifer wird dadurch, daß eine dicht verschlossene Membran von konstantem Druck in die Ansaugleitung eingesetzt wird und durch die dort erfolgenden Änderungen des Druckes ausgedehnt oder komprimiert wird, die Druckänderung in eine (räumliche) Verschiebungsgröße umgeformt. Durch diese

Verschiebungsgröße wird ein in einen magnetischen Stromkreis bildender Anker verschoben, wodurch die Induktanz einer Spule berührungslos geändert wird. Die Induktanz der Spule ist das (ein?) Hauptzeitbegrenzungselement in der elektronischen Steuereinrichtung (Computer) und durch die Änderung der Induktanz, d.h. also durch die Änderung des Druckes in der Ansaugleitung wird die Kraftstoffeinspritzzeitdauer verändert. Die Motordrehzahl wird durch die Ein-Aus-Häufigkeit zweier zusätzlich in den Zündverteiler eingebauter Kontakte abgegriffen. Diese Kontakte haben auch die Aufgabe die Kraftstoffeinspritzung mit der Motordrehzahl zu synchronisieren.

Da sich die angesaugte Luftmenge natürlich auch mit der Temperatur ändert, braucht man einen Ansauglufttemperaturabgreifer. Dieser Ansauglufttemperaturabgreifer ist aus temperaturempfindlichen Elementen (einem temperaturempfindlichen Element?), welche ihren Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur ändern, also z.B. aus Thermistoren (einem Thermistor?) aufgebaut.

Um bei Kälte den Betrieb des Motors reibungslos zu gestalten, hat man einen Motorkühlwassertemperaturabgreifer vorgesehen. Dieser hat die Aufgabe, bei niedriger Temperatur die Kraftstoffmenge zu erhöhen und dadurch die erhöhten Reibungsverluste des Motors und die schlechte Verdampfung (Vergasung?) des Kraftstoffes zu kompensieren. Dieser Kühlwassertemperaturabgreifer ist in der gleichen Weise wie auch der Ansauglufttemperaturabgreifer aus temperaturempfindlichen Elementen, wie etwa Thermistoren, aufgebaut.

Da es in erster Linie der Zweck der hier beschriebenen Kraftstoffeinspritzanlage ist, eine Gegenmaßnahme gegen die Verunreinigung der Atmosphäre durch die Auspuffgase darzustellen, so wird beim Verzögern der Kraftstoff abgesperrt. Um den Betriebszustand der Verzögerung am Motor abzugreifen, haben wir die Motordrehzahl und die Gaspedalstellung benützt. Es ist doch ganz klar, daß wir das Kriterium für den Betriebszustand der Verzögerung immer dann haben, wenn sich der Motor, ohne daß man dabei auf das Gaspedal tritt, mit einer Drehzahl dreht, die über einem bestimmten Wert liegt. Bei diesem Verzögerungszustand wird die Kraftstoffzufuhr vollständig abgeschnitten, so daß man auf diese Weise eine Reinigung der Abgase erzielt.

Da man sich bei der hier beschriebenen Kraftstoffeinspritzanlage eine Charakteristik des Luftkraftstoffverhältnisses zum Ziel gesteckt hat, bei welcher der Kraftstoffverbrauch möglichst gering und die Auspuffgase möglichst gut sind, so muß diese Charakteristik in den Fällen, wo Leistung gebraucht wird, wie etwa beim Beschleunigen, in die Charakteristik der maximalen Leistung umgeformt werden. In diesem Falle erfolgt das Abgreifen durch einen Druckschalter, bei welchem man sich die Tatsache zunutze gemacht hat, daß beim Beschleunigen der Druck in der Ansaugleitung nahezu gleich dem atmosphärischen Druck wird.

Somit wird also, wie wir oben dargelegt haben, aus der von den einzelnen Abgreifern kommenden, den Betriebszustand des Motors anzeigenden Information durch die elektronische Steuereinrichtung (Computer) die optimale Kraftstoffmenge berechnet, und der Ausgang dieser elektronischen Steuer-

einrichtung wird in Form von Stromimpulsen an die elektromagnetischen Einspritzventile weitergegeben. Das heißt also daß in dem Computer ein Muster (pattern) der an dem betreffenden Motor, zu welchem der Computer gehört, angepaßten idealen Ausgangsstromimpulszeiten aufgespeichert ist, und daß der Computer aufgrund der in jedem einzelnen Augenblick eintreffenden Information über den Betriebszustand des Motors blitzschnell entscheidet, welche Stelle dieses Musters die in diesem betreffenden Augenblick die gegebene ist, und daß er den aufgespeicherten optimalen Ausgang an das Kraftstoffeinspritzventil weitergibt.

Bei der hier beschriebenen elektronischen Steuereinrichtung (Computer) sind alle guten und schlechten Betriebsmöglichkeiten des Motors (?) berücksichtigt, ob nun der Anlasser betätigt wird oder ob der Motor läuft, und wenn er nicht läuft, dann ist dafür gesorgt, daß auch die Einspritzpumpe nicht betätigt wird (?). Dies hat den Zweck, zu verhüten, daß, wenn einmal aus irgend einem Grunde ein Kraftstoffeinspritzventil nicht geschlossen worden ist, das Innere des Zylinders mit Benzin angefüllt wird.

In der Tafel 2 ist die Wirkung der verschiedenen Hilfseinrichtungen, aus denen die elektronische Steuerung aufgebaut ist, aufgeführt.

3. Die verschiedenen Kennlinien der elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventile

Die Abb.5 zeigt die Bauart des Kraftstoffeinspritzventiles. Dieses Kraftstoffeinspritzventil ist ein elektromagnetisch betätigtes Ventil, das eine mengenmäßige Zumessung des Kraftstoffes und eine Zerstäubung des Kraftstoffes bewirkt.

Tafel 2

Die Wirkung des Steuersystems

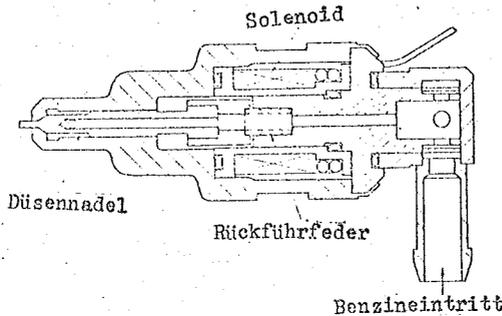
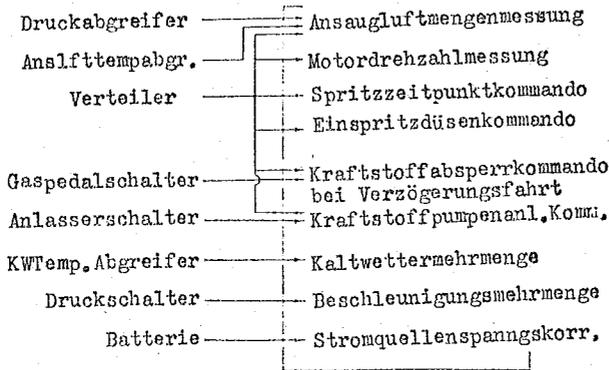


Abb.5 Das elektromagnetische Kraftstoffeinspritzventil

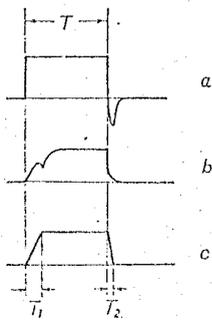


Abb.6 Die einzelnen Wellenformen des Kraftstoffeinspritzventils

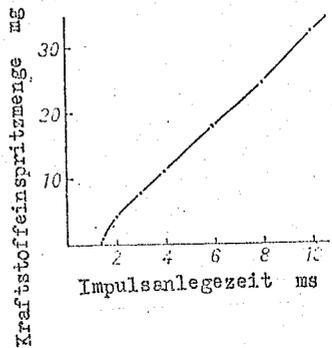


Abb.7 Die Kraftstoffeinspritzmengen-Impulsanlegezeit-Charakteristik

Dieses Kraftstoffeinspritzventil wird mit Hilfe einer Feder der üblichen Art vollständig geschlossen, so daß kein Kraftstoff eingespritzt wird. Wenn in dem Solenoiden ein elektrischer Strom fließt und der Solenoid auf diese Weise erregt wird, dann wird der Ventilkörper durch die elektromagnetische Kraft um einen konstanten Hub angezogen, und

der unter Druck gesetzte Kraftstoff wird durch einen konstanten Öffnungsquerschnitt eingespritzt. Wenn man dem Solenoiden des Kraftstoffeinspritzventiles, wie dies in der Abb.6(a) dargestellt ist, rechteckförmige Spannungsimpulse mit der Impulsbreite T zuführt, dann besitzt der in dem Solenoiden fließende Strom die in der Abb.6 dargestellten, von der Induktanz der Spule abhängigen Aufbau- und Abbauzeiten. Der Einschnitt im Aufbauteil der Stromwellenform gibt den Zeitpunkt an, in welchem das Anziehen und die Verschiebung des Ventilkörpers beendet ist.

Aus dieser Stromwellenform können wir, wie dies die Abb.6 zeigt, den zeitlichen Ablauf der Verschiebung des Ventilkörpers, d.h. also die Kraftstoffeinspritzmenge entnehmen. Wenn wir in der Abb.6(c) die Zeiten für den Aufbau und für das Abklingen der Einspritzung mit T_1 bzw. T_2 bezeichnen, dann ist, wenn die Impulszeitbreite der angelegten Spannungsimpulse kleiner ist als T_1 zu erwarten, daß der Ventilkörper entweder überhaupt nicht verschoben wird, oder daß er aus dem vollständig geöffneten Zustand geschlossen wird. Wir bekommen also eine Kraftstoffeinspritzmenge, die entweder überhaupt gleich null, oder aber äußerst klein ist, und die zur Impulszeitbreite nicht in einem proportionalen Zusammenhang steht. In der Abb.7 sehen wir ein Beispiel der Charakteristik eines Kraftstoffeinspritzventiles, die wir experimentell erhalten haben.

In der Abb.6(c) sind die Einspritzaufbauzeit T_1 und die Einspritzabbauzeit T_2 durch die Induktanz der Spule bestimmt. Diese Zeiten sind zwar unabhängig von der eigentlichen Impulszeitbreite konstant, es ist jedoch ganz klar,

daß sie Änderungen unterworfen sind, die von den Schwankungen der Spannung der Stromquelle herrühren. In der Abb.8 haben wir die Stromquellenspannung der Abb.7 als Parameter ausgedrückt und wir sehen aus dieser Abbildung, daß selbst dann, wenn gleiche Impulszeitbreiten gegeben werden, die Kraftstoffeinspritzmenge infolge der Schwankungen der Stromquellenspannung sehr verschieden sind. Deshalb muß die dem Einspritzventil zugeführte Stromquellenspannung, wenn sie nicht konstant gehalten werden kann, eine derartige Charakteristik haben, daß die Impulszeitbreite der ausgehenden Impulse umso kleiner ist, je höher die Spannung wird.

Sodann wollen wir den Einfluß des auf den Ventilkörper des Kraftstoffeinspritzventiles wirkenden Differenzdruck betrachten. Unter diesem Differenzdruck versteht man die in der Gleichung (2.3) des vorhergehenden Abschnittes ausgedrückte Differenz $(H_1 - H_2)$ des Druckes H_1 vor der Öffnung (im Oberlauf der Öffnung) und des Druckes H_2 nach der Öffnung (im Unterlauf der Öffnung). Es handelt sich hier also um die Differenz des durch einen Kraftstoffdruckregler auf den konstanten Wert von 2 kg/cm^2 gehaltenen Kraftstoffdruckes auf der Oberlaufseite der Öffnung und des sich in Abhängigkeit vom Lastbetriebszustand des Motors ändernden Ansaugleitungsdruckes auf der Unterlaufseite der Öffnung. Wenn sich also der Druck in der Ansaugleitung im Unterlauf der Öffnung (nach der Öffnung) ändert, dann erhalten wir, da ja der Kraftstoffdruck auf der Oberlaufseite der Öffnung konstant ist, für das Gewicht des eingespritzten Kraftstoffes aus der Gleichung (2.3) die nachstehende Gleichung

$$\frac{M_1}{M_2} \propto \sqrt{\frac{(H_1 - H_2)}{(H_1 - H_2')}} = \sqrt{\frac{H}{H'}} \dots \dots \dots (3.1)$$

Hierin sind

- M_1 : das Gewicht des eingespritzten Kraftstoffes vor der Änderung (kg/s)
- M_2 : das Gewicht des eingespritzten Kraftstoffes nach der Änderung (kg/s)
- H_2' : der Ansaugleitungsdruck nach der Änderung (kg/m^2)
- H : der Differenzdruck vor der Änderung (kg/m^2) $H_1 - H_2$
- H' : der Differenzdruck nach der Änderung (kg/m^2) $H_1 - H_2'$

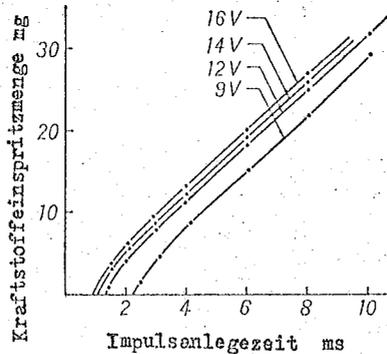


Abb.8 Die Kraftstoffeinspritzmengen-Impulsanlegezeit-Charakteristiken

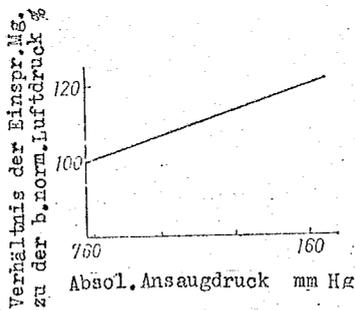


Abb.9 Die Kraftstoffeinspritzmengen-Ansaugleitungsdruck-Charakteristik

Es ist zu erwarten, daß das Gewicht des eingespritzten Kraftstoffes in Abhängigkeit von dem durch die obige Gleichung (3.1) gegebenen Verhältnis zunimmt oder abnimmt. In der Abb. 1 haben wir experimentell erhaltene Werte aufgezeichnet, welche diesen Zusammenhang deutlich machen, man sieht aus dieser Abbildung, daß diese Versuchswerte gut mit der Gleichung (3.1) übereinstimmen. Auch die Änderung des auf den Ventilkörper wirkenden Differenzdruckes ist nahezu ohne Einfluß auf die Ansprechzeit (Arbeitszeit?)

des Ventilkörpers, d.h. also auf die in der Abb.6(c) angegebene Zeit T_1 ; man kann also diese Änderung des auf den Ventilkörper wirkenden Differenzdruckes praktisch vernachlässigen.

4. Die elektronische Steuereinrichtung (Computer)

Diese unter Anwendung der Elektronik ausgeführte Steuereinrichtung (Computer) bestimmt aufgrund der verschiedenen Informationen über den Betriebszustand des Motors, wie wir bereits oben dargelegt haben, die Zeitdauer der Stromimpulse für die Betätigung der Kraftstoffeinspritzventile, d.h. also die Kraftstoffeinspritzmenge.

In diesem Computer sind, um den Preis niedrig zu halten, im Falle eines Vierzylindermotors 2 Kraftstoffeinspritzventile elektrisch parallel geschaltet und die Einspritzung des Kraftstoffes erfolgt (jeweils) gleichzeitig für 2 Zylinder.

Der grundlegende Aufbau des Computers besteht aus einem monostabilen Multivibrator (monostabilen Multivibratoren) und einem Ausgangsverstärker (Ausgangsverstärkern). Dieser monostabile Multivibrator wird durch 2 im Zündverteiler vorgesehene Kontakte bei jeweils einer Umdrehung der Nockenwelle zweimal getriggert. Durch dieses Triggern wird der monostabile Multivibrator aus dem stabilen Zustand in den nichtstabilen Zustand umgekehrt und die Zeit, während welcher sich der monostabile Multivibrator im nicht stabilen Zustand befindet, wird in der Hauptsache durch die Größe der Induktanz des Druckabgreifers bestimmt.

Die Abb.10 zeigt ein Blockschema des Innern des Computers, und die Abb.11 zeigt die Wellenformen der einzelnen Teile.

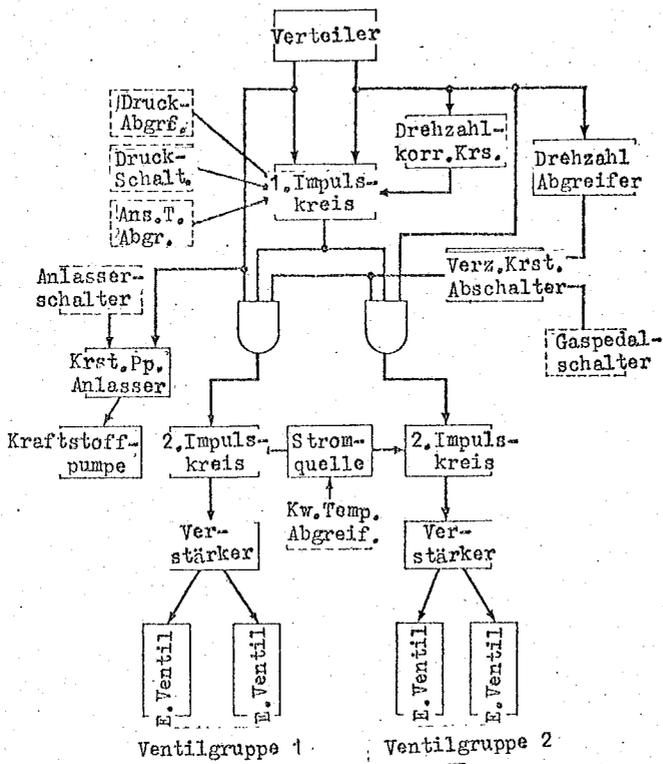


Abb. 10 Blockschema der Steuerstromkreise

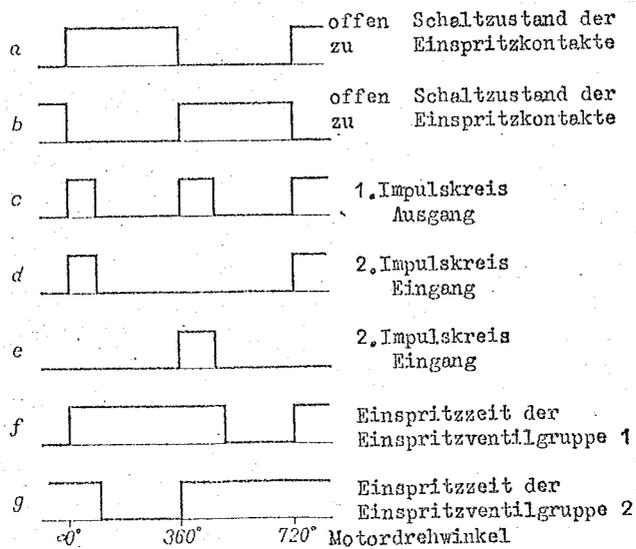


Abb. 11 Die einzelnen Wellenformen der Steuerstromkreise

Wir wollen zunächst das Blockschema erklären. Durch die 2 im Zündverteiler eingebauten Kontakte wird der erste aus dem Multivibrator (den Multivibratoren?) bestehende Impulserzeugungstromkreis getriggert. Die Impulsbreite dieses Impulserzeugungstromkreises wird in der Hauptsache durch die Größe der Induktanz des Spannungsabgreifers bestimmt. Weiterhin sind es die von dem die Ansauglufttemperaturkorrektur ausführenden Ansauglufttemperaturabgreifer und von dem beim Beschleunigen die Kraftstoffmehrmengenwirkung ausführenden Druckschalter herkommenden Informationen, sowie der Ausgang des Drehzahlkorrekturstromkreises, welche einen Einfluß auf die Impulsbreite des ersten Impulserzeugungstromkreises ausüben. Dies hat zur Folge, daß die in der Abb.11(c) dargestellte Ausgangsimpulsbreite des ersten Impulserzeugungstromkreises der Motorbelastung in diesem Zeitpunkt entspricht.

Der erste Ausgangsimpuls kann, da die Impulse der zwei Kraftstoffeinspritzventilgruppen gemeinsam erzeugt werden, wenn man das logische Produkt dieses Ausgangsimpulses und der Öffnungs- und Schließausgangssignale der beiden Kontakte im Zündverteiler, wie dies in den Abb.11(a) und 11(b) zu sehen ist, nimmt, in die 2 Kraftstoffeinspritzventilgruppen aufgeteilt werden, wie dies in den Abb.11(d) und 11(e) zu sehen ist. Dieses logische Produkt wird für ein weiteres Element hergestellt. Unter diesem Element versteht man das Signal zum Absperrn der Kraftstoffzufuhr bei Verzögerung, welches durch den Ausgang des Drehzahlabgreiferstromkreises und durch den Zustand (Schaltzustand?) des Gaspedalschalters bestimmt ist; durch diesen Ausgang wird die Frage entschieden, ob der Kraftstoff abgesperrt werden

soll oder nicht.

Der 2. Impulserzeugungsstromkreis erzeugt Impulse mit der in den Abb. 11(f) und 11(g) dargestellten Breite, welche zu der Impulsbreite des 1. vom Ausgang des logischen Stromkreises her gegebenen Impulses proportional ist. Dieser Stromkreis besitzt in seinem Innern einen Impulsspeicher- teil und einen Ablese- teil; das Verhältnis der Impulsbrei- ten des 1. Impulses und des 2. Impulses ist durch das Verhält- nis der Stromwerte der Stromquellen für die Impulsspeiche- rung und für das Ablesen bestimmt. Der Stromwert der Strom- quelle für dieses Impulsable- sen ist so aufgebaut, daß er durch das Signal (die Signale?) des Kühlwassertemperatur- abgreifers geändert wird. Mit absinkender Motortemperatur wird das Verhältnis der Impulsbreiten des 1. Impulses und des 2. Impulses größer und die Impulsbreite des Ausgangs- impulses nimmt zu.

Da dieser 2. Impulserzeugungsstromkreis auf die beiden Kraftstoffeinspritzventilgruppen aufgeteilt ist, so müssen die Fehler der beiden möglichst klein gemacht werden. Nun wird die Impulsablesestromquelle von zwei 2. Impulserzeu- gungsstromkreises gemeinsam verwendet, und man hat (auf diese Weise?) ihre Fehler kleiner gemacht. Die in den bei- den 2. Impulserzeugungsstromkreisen erhaltenen, in der Abb. 11(f) dargestellten Impulse werden verstärkt und dadurch, daß während der Impulszeit dieser Impulse die Kraftstoff- einspritzventile betätigt werden, wird der Kraftstoff ein- gespritzt.

Bei dem oben beschriebenen Stromkreisaufbau werden im Ver- gleich mit einer Anlage, bei welcher die Kraftstoffein-

spritzventile lediglich durch einen Impulserzeugungsstromkreis betätigt werden, die Freiheitsgrade der Kraftstoffmengeneinspritzung verdoppelt. Denn, wenn die Impulse der Kraftstoffeinspritzventilgruppen nur mit dem 1. Impulserzeugungsstromkreis erzeugt werden, bekommt man, selbst dann, wenn man die Impulsbreite des 1. Impulses sehr groß macht, für eine Kraftstoffeinspritzgruppe eine Einspritzung nur für die Zeit, welche für eine Umdrehung des Motors gebraucht wird. Da man nun bei unserem Steuerungssystem nach der Beendigung des 1. Impulses einen selbständigen 2. Impuls erzeugt, so ist es auch möglich, daß 2 Kraftstoffeinspritzventilgruppen gleichzeitig einspritzen. Das heißt also, man kann einspritzen bis zu der Zeit, welche für 2 Umdrehungen des Motors gebraucht wird. Dieser Vergleich ist in der Abb. 12 dargestellt. Bei unserem Computer haben wir unser besonderes Augenmerk darauf gerichtet, daß der Stromkreislauf gegenüber den Änderungen der Umgebungstemperatur eine möglichst hohe Ansprechstabilität besitzt.

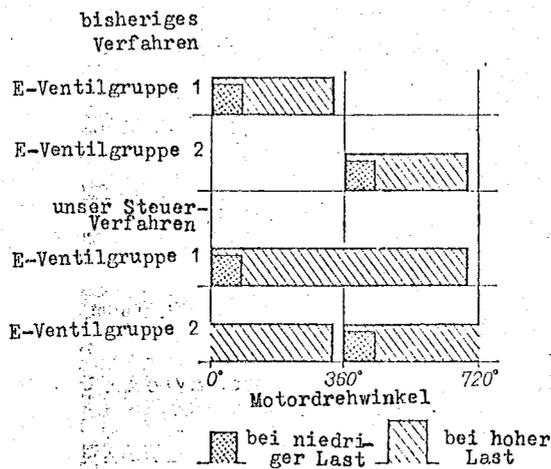


Abb. 12 Vergleich der Kraftstoffeinspritzventil-Betätigungszeiten

5. Schlußwort

In der vorliegenden Arbeit haben wir die wesentlichen Punkte unserer elektronischen Kraftstoffeinspritzanlage vorgestellt; bei dieser Anlage erfolgt die Kraftstoffeinspritzung durch elektromagnetisch betätigte Einspritzventile, zudem unterscheidet sich unsere Anlage dadurch, daß die Steuerung mit einer unter Anwendung der Elektronik aufgebauten Einrichtung erfolgt, grundlegend von den bisher gebräuchlichen Kraftstoffeinspritzanlagen. Durch diesen einzigartigen Aufbau kann die Kostenfrage, welche den größten Nachteil der bisher gebräuchlichen Anlagen darstellt, ohne eine Einbuße in der Steuerungsgenauigkeit gelöst werden.

Im Vergleich mit dem Vergasersystem sind die Kosten allerdings immer noch sehr hoch und man setzt große Hoffnungen auf zukünftige Verbesserungen.