

# Elektronisch gesteuerte Benzineinspritzung — Weiterentwicklung der Jetronic

Von Hermann Scholl

Robert Bosch GmbH, Technisches Zentrum Autoelektrik, Schwieberdingen bei Stuttgart

*Die elektronisch gesteuerte Benzineinspritzung von Bosch wird seit 1967 im VW 1600 eingebaut. Inzwischen wurde die Anlage in einigen wesentlichen Punkten weiterentwickelt und für eine Reihe von Vier-, Sechs- und Achtzylinder-Motoren hoher spezifischer Leistung ausgelegt. Die Steuerung wurde im Hinblick auf die Abgasentgiftung weiter verfeinert, und sie ermöglicht es, die von 1970 an in den USA geltenden verschärften Abgasbestimmungen einzuhalten.*

*The Bosch electronically controlled fuel injection system has been fitted to the VW 1600 since 1967. In the meantime, the system has been further developed in certain aspects and has been adapted to a number of 4-, 6- and 8-cylinder engines of high specific power. The system has also been further refined in respect of exhaust emissions, so that the more onerous conditions which will be imposed in the USA from 1970 onwards can be met.*

*L'injection d'essence à commande électronique développée par la Société Robert Bosch équipe la voiture VW 1600 depuis 1967. Entre temps, l'équipement a été amélioré sur certains points essentiels et prévu pour être monté sur toute une gamme de moteurs à 4, 6 et 8 cylindres de puissance spécifique élevée. La commande et le réglage ont été encore raffinés en ce qui concerne la pollution de l'air par les gaz d'échappement. Il est maintenant possible de répondre aux conditions plus sévères qui seront applicables pour les gaz d'échappement aux Etats Unis à partir de 1970.*

## 1. Einleitung

Die Kraftstoffeinspritzung bei Ottomotoren bietet eine Reihe von Vorteilen, welche sich insbesondere durch höhere Hubraumleistung, geringeren spezifischen Kraftstoffverbrauch und geringeren Gehalt der Abgase an unverbrannten Bestandteilen auswirken [1 bis 6]. Diese Vorteile hängen nur zum kleineren Teil unmittelbar mit dem Einspritzen des Kraftstoffes zusammen. Wesentlicher ist der Umstand, daß eine Einspritzanlage dem Motorkonstrukteur zusätzliche Möglichkeiten und Freiheitsgrade bietet. Sie gestattet eine optimale konstruktive Gestaltung der Ansaugwege des Motors. Weiterhin erlaubt sie, eine Vielzahl von Steuergrößen zu berücksichtigen, die zu einer idealen Anpassung der

Kraftstoffmenge an die vielfältigen Betriebszustände des Motors erforderlich sind. Die elektronisch gesteuerte Benzineinspritzung [6 bis 13] bietet hinsichtlich der Steuerungsmöglichkeiten besondere Vorteile, da die Elektronik eine beliebig große Anzahl von Steuergrößen an beliebigen Stellen des Fahrzeuges über entsprechende Meßwertaufnehmer erfassen und nach einem beliebigen Programm miteinander verknüpfen kann.

Die von Bosch entwickelte Jetronic-Anlage [6; 12; 13], die in enger Zusammenarbeit mit dem Volkswagenwerk 1967 beim VW 1600 zum Serieneinsatz gebracht wurde, ist eine elektronisch gesteuerte Benzineinspritzanlage, welche in großen Stückzahlen hergestellt wird und die sich in der Praxis sehr gut bewährt hat. Der mit Jetronic ausgerüstete VW 1600 erfüllt die 1968 in den USA in Kraft getretenen Abgasbestimmungen. In der Zwischenzeit wurde die Einspritzanlage nach verschiedenen Richtungen hin weiterentwickelt und verbessert. Sie wurde an eine Reihe von Vierzylinder- und Sechszylinder-Motoren hoher spezifischer Leistung angepaßt. Durch Verfeinerung der Steuerungsmethoden wurde die Emission unverbrannter Abgasbestandteile weiter verringert und das Fahrverhalten verbessert.

## 2. Prinzip der neuen Jetronic-Anlage

Die Jetronic-Anlage wurde bereits ausführlich beschrieben [12; 13]. Die neue Anlage wird jedoch der Vollständigkeit halber als Ganzes erläutert, wobei die mit der Weiterentwicklung zusammenhängenden Merkmale besonders hervorgehoben werden. Das Prinzip der neuen Anlage ist in *Bild 1* dargestellt.

### 2.1. Kraftstoffkreislauf

Eine elektrisch angetriebene Kraftstoffpumpe fördert den Kraftstoff und erzeugt den Einspritzdruck. Der Kraftstoff wird aus dem Tank durch ein Filter angesaugt und in die Druckleitung gepreßt. Das Filter kann auch in der Druckleitung angeordnet werden, sofern die Saugseite der Pumpe durch ein kleines Vorfilter vor grobem Schmutz geschützt wird. Am Ende der Druckleitung hält ein Überströmdruckregler hoher Regelgenauigkeit den Kraftstoffdruck unabhängig von der geförderten und abgespritzten Kraftstoffmenge auf 2,0 atü konstant.

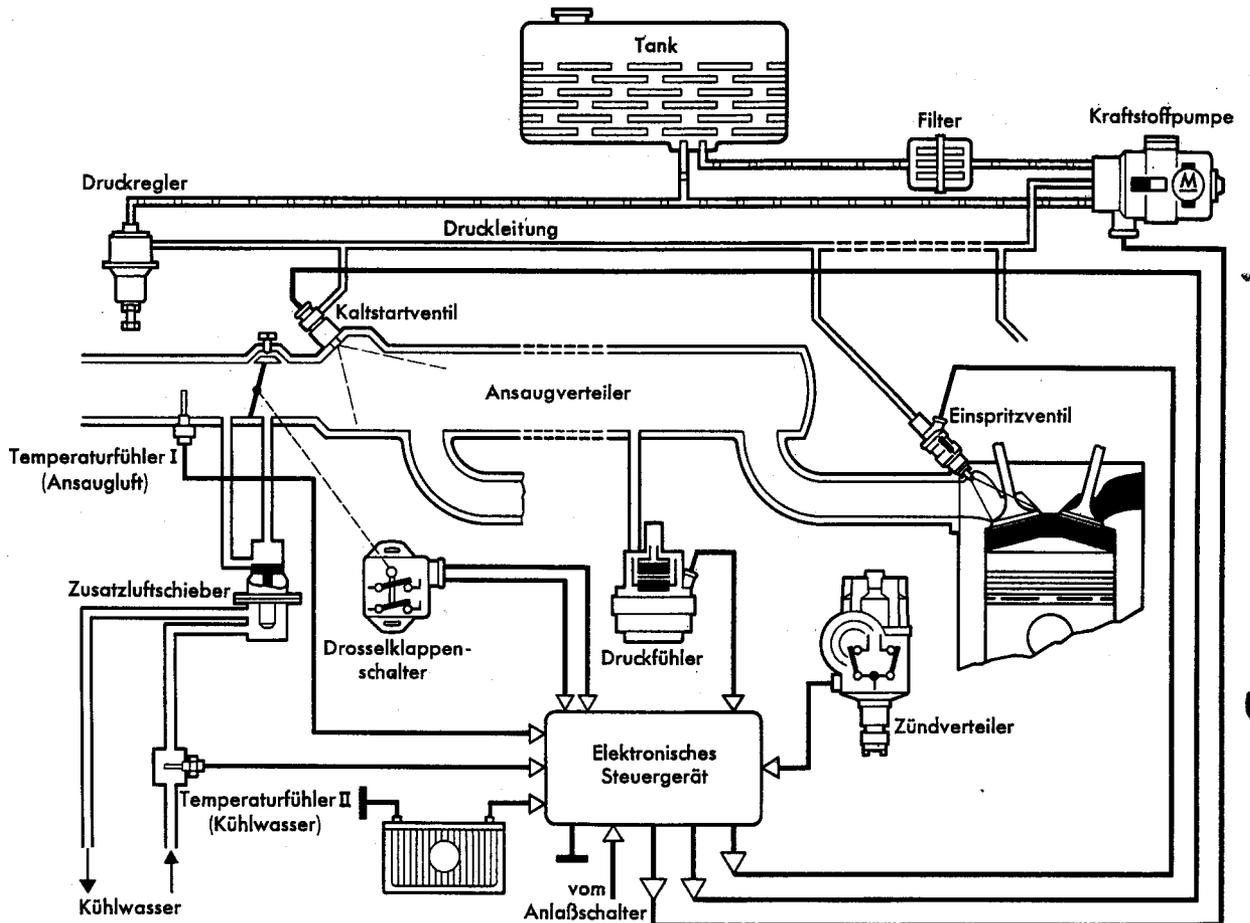


Bild 1: Prinzip der elektronisch gesteuerten Einspritzanlage.

Die Pumpe fördert 20 bis 40 l/h mehr Kraftstoff als der Motor maximal benötigt. Der überschüssige Kraftstoff fließt vom Druckregler durch eine zweite Leitung in den Tank zurück. Eine dritte Leitung führt direkt von der Pumpe zum Tankrücklauf; sie dient der Entlüftung der Pumpe beim Heißstart. Von der Druckleitung führen Abzweigleitungen zu den einzelnen Einspritzventilen.

## 2.2. Ansaugsystem

Die Ansaugluft gelangt vom Luftfilter (in *Bild 1* nicht dargestellt) an einer Drosselklappe großen Durchmessers vorbei in den Ansaugverteiler, von welchem zu jedem Zylinder ein eigenes Saugrohr führt. Form und Volumen des Ansaugvertailers sowie Länge und Durchmesser der Saugrohre haben einen wesentlichen Einfluß auf den Verlauf des Motordrehmoments über der Drehzahl.

Jedem Zylinder ist ein elektromagnetisch betätigtes Einspritzventil zugeordnet. Die Einspritzventile werden je nach Bauart des Motors in das Ansaugrohr oder in den Zylinderkopf eingebaut. Der Kraftstoffstrahl ist auf den Teller des Einlaßventiles gerichtet. Ein Benetzen der Wand des Ansaugkanals durch den Kraftstoffstrahl wird weitgehend vermieden. Zur Wärme- und Geräuschisolation sowie zum Abdichten des Ansaugkanals nach außen werden die Einspritzventile in Gummiringen befestigt.

Um gutes Fahrverhalten und geringe Abgasemission zu erreichen, müssen die Einspritzventile möglichst nahe an den Einlaßventilen angebracht sein. Dies hat jedoch zur Folge, daß der Kraftstoff beim Kaltstart keine ausreichende Gelegenheit zum Vermischen mit der Verbrennungsluft und zum Verdampfen hat, da der Weg bis zum Zylinder sehr kurz ist. Bei Temperaturen unterhalb  $-25^{\circ}\text{C}$  ergeben sich deshalb unter Umständen Startschwierigkeiten. Um bei den neuen Jetronic-Anlagen einen einwandfreien Kaltstart bis ungefähr  $-30^{\circ}\text{C}$  zu erreichen, wurde ein besonders gut zerstäubendes Magnetventil entwickelt, das beim Kaltstart unmittelbar hinter der Drosselklappe zusätzlichen Kraftstoff in den Ansaugverteiler spritzt. Dadurch wird der zusätzliche Kraftstoff beim Start sehr gut vernebelt und mit der Luft vermischt, und die leicht flüchtigen Anteile verdampfen auf dem Weg über die Ansaugrohre bis zum Zylinder.

## 2.3. Steuerung der Kraftstoffmenge durch Saugrohrdruck und Drehzahl

In jeden Zylinder wird je Arbeitszyklus einmal Kraftstoff eingespritzt. Zur Verringerung des Aufwandes für die elektronische Steuerung werden jedoch die Einspritzventile in Gruppen zusammengefaßt. Bei Vierzylinder-Motoren sind jeweils zwei, bei Sechszylinder-Motoren jeweils drei Ventile elek-

trisch parallel geschaltet und spritzen somit gleichzeitig, wobei die Ventile innerhalb einer Gruppe zu Zylindern gehören, die in der Zündfolge hintereinander liegen.

Die Einspritzventile werden durch Stromimpulse geöffnet, welche das elektronische Steuergerät liefert. Der Einspritztakt für die beiden Ventilgruppen wird durch zwei im Zündverteiler eingebaute Steuerkontakte bestimmt, die um  $180^\circ$  gegeneinander versetzt jeweils einmal pro Nockenwellenumdrehung geschlossen werden. Diese sogenannte Impulsauslösung markiert den Beginn der Stromimpulse. Die je Arbeitszyklus abgespritzte Kraftstoffmenge wird durch die Dauer der Stromimpulse bestimmt, welche das elektronische Steuergerät aus den Betriebsgrößen des Motors errechnet. Die Betriebsgrößen werden an geeigneten Stellen des Motors durch Meßfühler aufgenommen und dem Steuergerät in Form elektrischer Größen zugeleitet.

Da die Kraftstoffmenge im Takt des Motors zugemessen wird, muß sie der je Hub angesaugten Luftmenge angepaßt werden. Diese ist in erster Näherung dem absoluten Luftdruck im Ansaugrohr proportional und hängt nur in geringem Maße von der Motordrehzahl ab. Es bietet sich daher an, die Einspritzmenge durch den absoluten Saugrohrdruck mit Korrektur durch die Motordrehzahl zu steuern [13], wie dies bei der Jetronic verwirklicht wurde.

In Bild 2 ist das Kennfeld für den Kraftstoffbedarf eines Sechszylinder-Motors je Arbeitshub dargestellt, das auf dem Motorprüfstand ermittelt wurde. Über der Motordrehzahl  $n$  wurde mit dem absoluten Saugrohrdruck  $p_s$  als Parameter die Dauer  $t_i$  der Stromimpulse aufgetragen, die der erforderlichen Einspritzmenge je Hub proportional ist. Bei Vollast stellt sich kein konstanter, sondern ein mit steigender Motordrehzahl abnehmender Saugrohrdruck ein, wie es die Bezifferung der Vollastkurve zeigt.

Ein Schnitt durch die Kurvenschar bei konstanter Drehzahl läßt erkennen, wie der Kraftstoffbedarf vom Saugrohrdruck abhängt; z. B. muß bei 2000 U/min die Impulsdauer  $t_i$  zwischen 2,4 ms bei 300 Torr und 6,0 ms bei 700 Torr und 7,3 ms bei Vollast variiert werden. Die Saugrohrdrucksteuerung im elektronischen Steuergerät bildet diese Abhängigkeit mit großer Genauigkeit nach, und ihr ist eine Drehzahlsteuerung überlagert, die entsprechend dem Kurvenverlauf die Impulsdauer zwischen 1000 und 5000 U/min verlängert und oberhalb von 5000 U/min wieder verringert.

Der absolute Saugrohrdruck steuert die Impulsdauer über den Druckfühler, dessen Induktivität über evakuierte Membrandosen durch den Saugrohrdruck verändert wird. Die Induktivität bildet zusammen mit einer monostabilen Kippstufe des Steuergerätes den Hauptsteuerkreis. Die Kippstufe

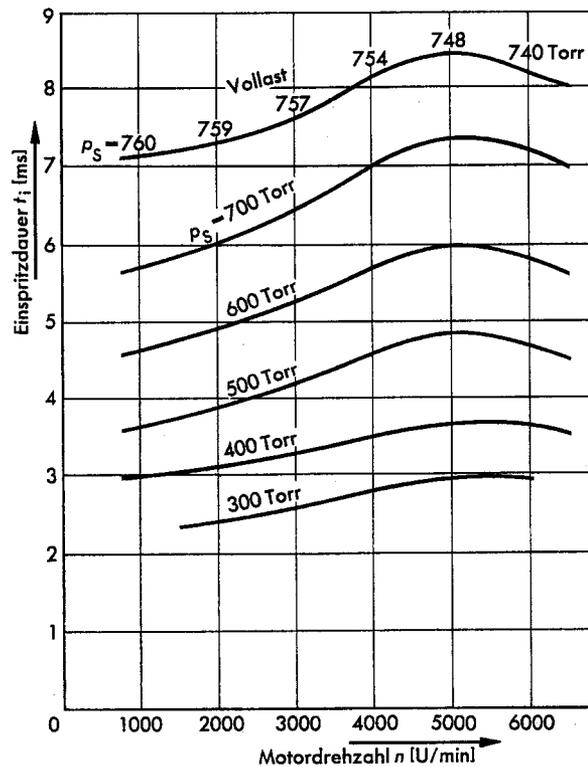


Bild 2: Mengenkennefeld eines Sechszylinder-Motors. Einspritzdauer  $t_i$  in Funktion von Drehzahl  $n$  und absolutem Saugrohrdruck  $p_s$ .

wird zweimal je Nockenwellenumdrehung durch die vom Zündverteiler erzeugten Auslöseimpulse in die Stellung „ein“ gebracht. Damit wird gleichzeitig für eine der beiden Ventilgruppen der Strom eingeschaltet. Die monostabile Kippstufe schaltet nach einer bestimmten Zeit, die im wesentlichen von der Induktivität der Druckfühlerspule abhängt, selbsttätig wieder in Stellung „aus“, wodurch der Ventilstrom wieder abgeschaltet wird.

Für die Motordrehzahl ist keine eigene Eingabe in das Steuergerät erforderlich, da sie innerhalb der Steuerelektronik in Form des zeitlichen Abstandes der aufeinanderfolgenden Auslöseimpulse des Zündverteilers bereits vorliegt. Für den Drehzeileinfluß wird aus dem Impulsabstand eine von der Drehzahl abhängige Steuerspannung gebildet. Diese Steuerspannung beeinflusst die Einschaltdauer der monostabilen Kippstufe entsprechend dem vom Kennfeld geforderten Verlauf.

#### 2.4. Kaltstart- und Warmlaufautomatik

Beim Kaltstart und in der anschließenden Warmlaufphase benötigt der Motor ein stark angereichertes Gemisch. Während des eigentlichen Startvorganges wird diese Anreicherung im wesentlichen durch das Kaltstartventil bewirkt, welches je nach Motorgröße eine Kraftstoffmenge von 100 bis 200  $\text{cm}^3/\text{min}$  abspritzt, solange der Anlaßschalter betätigt wird. Ein Temperaturschalter mit einem Schaltschaltpunkt — je nach Motortyp — zwischen 0 und  $+15^\circ\text{C}$  bewirkt, daß das Kaltstartventil nur

bei Kühlwassertemperaturen unterhalb der Schalttemperatur betätigt wird. Als Thermoschalter steht wahlweise eine elektronische oder eine mechanische Ausführung zur Verfügung. Der elektronische Thermoschalter ist Teil des elektronischen Steuergerätes und wird durch den Kühlwasser-Temperaturfühler angesteuert. Der mechanische Bimetall-Thermoschalter, welcher eine zusätzliche Einbaustelle am Motor benötigt, ist elektrisch direkt in die zum Kaltstartventil führende Steuerleitung eingeschaltet.

Bei Motoren, die bei reichem Startgemisch zu einem Benetzen der Zündkerzen neigen, ist es vorteilhaft, den Thermoschalter durch einen Thermostzeitschalter zu ersetzen, der ebenfalls als elektronischer oder als mechanischer Schalter ausgeführt wird. Er bewirkt eine zeitliche Begrenzung der Einschaltdauer des Kaltstartventils. Der Schalter ist so dimensioniert, daß die Einschaltdauer bei einer Kühlwassertemperatur von  $-20^{\circ}\text{C}$  je nach Motortyp zwischen 5 und 20 s beträgt, mit steigender Kühlwassertemperatur abnimmt und bei  $+20^{\circ}\text{C}$  bis  $+40^{\circ}\text{C}$  den Wert Null erreicht.

Der sich an den Kaltstart anschließende Betrieb des Motors bis zum Erreichen des betriebswarmen Zustandes wird als Warmlaufphase bezeichnet. Während dieses Betriebszustandes benötigt der Motor eine beträchtliche Warmlaufanreicherung. Unmittelbar nach einem Start bei  $-20^{\circ}\text{C}$  muß je nach Motortyp zwei- bis dreimal soviel Kraftstoff wie im betriebswarmen Zustand eingespritzt werden. Die Anreicherung wird während der Warmlaufphase mit steigender Motortemperatur stetig abgeregelt und verschwindet bei Erreichen der Betriebstemperatur. Die Warmlaufmenge wird auch während des Anlassens eingespritzt. Bei tiefen Temperaturen kommt sie zu der vom Kaltstartventil abgespritzten Menge noch hinzu. Oberhalb der Schalttemperatur des Thermoschalters wirkt sie während des Anlassens als Startanreicherung.

Die Anreicherung wird über Temperaturfühler gesteuert, die die Einschaltdauer der monostabilen Kippstufe temperaturabhängig vergrößern. Die Temperatur muß am Motor an einer Stelle abgefühlt werden, welche die für die Kraftstoffaufbereitung und die Verbrennungsvorgänge maßgeblichen Temperaturen möglichst gut repräsentiert. Bei der in *Bild 1* dargestellten Einspritzanlage eines wassergekühlten Motors wird die Warmlaufanreicherung durch den im Kühlwasser angebrachten Temperaturfühler gesteuert. Bei luftgekühlten Motoren erfolgt die Steuerung durch einen Fühler am Zylinderkopf.

Beim Kaltstart und beim anschließenden Warmlauf wird neben einem reicheren Kraftstoff-Luft-Gemisch auch eine größere Luftmenge im Leerlauf benötigt. Die zusätzliche Luftmenge ist einmal er-

forderlich, um die Leerlaufdrehzahl zu erhöhen, damit ein einwandfreier Rundlauf erreicht wird. Außerdem muß der noch kalte Motor im Leerlauf zur Überwindung der stark erhöhten Reibung eine wesentlich höhere Leistung erzeugen. Die Zusatzluft wird durch ein die Drosselklappe umgehendes Bypassventil, den sogenannten Zusatzluftschieber, gesteuert. Dieser besteht aus einem Ventil, dessen Öffnungsquerschnitt in Abhängigkeit von der Motortemperatur oder der Temperatur einer elektrischen Heizwendel über eine Bimetallspirale oder ein Dehnstoffelement verändert wird.

### 2.5. Zusätzliche Steuerungen und Korrekturen

Für den Teillastbetrieb des Motors wird der Kraftstoff so bemessen, daß der spezifische Kraftstoffverbrauch und der Anteil unverbrannter Abgasbestandteile möglichst nieder sind. Bei Vollast dagegen wird die Kraftstoffmenge nach dem Gesichtspunkt maximaler Motorleistung festgelegt. Wie aus *Bild 2* hervorgeht, steigt daher die Impulsdauer zwischen der 700-Torr-Kurve und der Vollastkurve, bezogen auf die Saugrohrdruckzunahme, stärker an als bei Teillast. Diese vom Kennfeld geforderte starke Zunahme der Einspritzmenge bei Vollast wird als Vollastanreicherung bezeichnet. Sie könnte grundsätzlich durch eine entsprechend steil verlaufende Abhängigkeit der Induktivität des Druckfühlers vom Saugrohrdruck zwischen 700 Torr und 760 Torr erreicht werden. Dieses Verfahren hätte jedoch den Nachteil, daß beim Betrieb des Fahrzeuges in großen Höhen, in denen der atmosphärische Druck Werte über 700 Torr gar nicht erreicht, keine Vollastanreicherung wirksam würde.

Dieser Nachteil wird vermieden, wenn die Vollastanreicherung nicht vom absoluten Saugrohrdruck, sondern vom Saugrohrunterdruck, d. h. vom Differenzdruck zwischen Saugrohrdruck und Atmosphärendruck, gesteuert wird. Bei der bisherigen Jetronic-Anlage wird die Anreicherung durch einen Druckschalter gesteuert, auf den der Unterdruck im Saugrohr einwirkt. Fällt der Unterdruck im Ansaugrohr beim Öffnen der Drosselklappe unter etwa 50 Torr, so wird ein Kontakt im Druckschalter geschlossen, wodurch die Einschaltdauer der monostabilen Kippstufe im Steuergerät vergrößert wird. Bei der neuen Jetronic-Anlage ist diese Funktion im Druckfühler mit enthalten (Abschnitt 3.3.), ohne den oben genannten Nachteil aufzuweisen.

Das Gewicht der vom Motor je Hub angesaugten Luftmenge, der die entsprechende Kraftstoffmenge zugeordnet werden soll, hängt nicht nur vom Saugrohrdruck und von der Motordrehzahl, sondern auch von der Temperatur der Ansaugluft ab. Bei niedrigen Außentemperaturen ist das angesaugte Luftgewicht höher, so daß das Kraftstoff-Luft-Gemisch hierbei magerer wird, falls die Steuerung die Lufttemperatur nicht berücksichtigt. Ab-

gasentgiftete Motoren, die bereits bei einer Temperatur von  $+20^{\circ}\text{C}$  eine verhältnismäßig magere Gemischeinstellung haben, zeigen unter Umständen bei Außentemperaturen zwischen  $0$  und  $-20^{\circ}\text{C}$  bereits Aussetzer im Teillastbereich. Um diesen Nachteil zu vermeiden, wird in das Saugrohr oder in das Luftfilter ein Temperaturfühler eingebaut (*Bild 1*), der mit abnehmender Lufttemperatur eine Zunahme der Einspritzmenge um 1 bis 3 Prozent je  $10^{\circ}\text{C}$  bewirkt.

Um Kraftstoff zu sparen und um die Emission unverbrannter Abgasbestandteile bei einem vorgegebenen Fahrzyklus zu verringern, wird im Schiebepetrieb die Kraftstoffzufuhr vollständig abgesperrt. Das Steuergerät liefert in diesem Betriebszustand, welcher durch einen Schalter an der Drosselklappe signalisiert wird, keine Stromimpulse an die Einspritzventile. Damit der Motor jedoch beim Auskuppeln nicht stehen bleibt, wird die Absperrung bei Motordrehzahlen zwischen 1000 und 1500 U/min wieder aufgehoben. Der hierfür erforderliche Drehzahlenschalter ist elektronisch ausgeführt und im Steuergerät enthalten.

Um die Vorteile der Kraftstoffabspernung in einem weiten Bereich auszunützen, ist es wünschenswert, die Schaltdrehzahl möglichst tief zu legen. Dem würde bei nicht betriebswarmem Motor entgegenstehen, daß der Motor unter Umständen stehen bleibt. Bei den neuen Jetronic-Anlagen wird diese Schwierigkeit dadurch überwunden, daß die Schaltdrehzahl von der Temperatur des Kühlwassers abhängt. Sie liegt bei Kühlwassertemperaturen unter  $0^{\circ}\text{C}$  bei etwa 1500 U/min und verschiebt sich mit zunehmender Kühlwassertemperatur auf etwa 1000 U/min.

Bei den neuen Jetronic-Anlagen dient der Drosselklappenschalter zusätzlich als Signalgeber für eine von der Drosselklappenbewegung gesteuerte Beschleunigungsanreicherung. Zu diesem Zweck sind die neuen Drosselklappenschalter mit einem zusätzlichen Kontaktsatz ausgerüstet, der beim Öffnen der Drosselklappe eine Folge von Spannungsimpulsen an das Steuergerät liefert. Diese Spannungsimpulse bewirken das Einspritzen zusätzlicher Kraftstoffmengen während des Öffnens der Drosselklappe. Die Zusatzmengen sind sehr gering und wirken sich auf den Kraftstoffverbrauch kaum aus.

Im Gegensatz zum Vergaser ist für eine Einspritzanlage eine Beschleunigungsanreicherung nicht unbedingt erforderlich. Sie bringt jedoch eine Reihe von Vorteilen mit sich. Zum einen überbrückt sie die zwar sehr kleine, aber doch vorhandene Ansprechverzögerung des pneumatisch angesteuerten Druckfühlers, so daß der Motor jeder Gaspedalbewegung völlig verzögerungsfrei folgt. Weiterhin ermöglicht die Beschleunigungsanreicherung eine noch magerere Gemischeinstellung im Teillast-

bereich ohne die Gefahr von Zündaussetzern beim Beschleunigen, wodurch eine weitere Absenkung der Kohlenwasserstoffemission erzielt wird. Schließlich kommt man bei einer Einspritzanlage mit Beschleunigungsanreicherung mit einer geringeren Gemischanreicherung bei kaltem Motor aus, wodurch die Emission unverbrannter Abgasbestandteile und die Gefahr eines Verrußens der Zündkerzen herabgesetzt werden.

Die Anzugs- und die Abfallzeit des elektromagnetischen Einspritzventiles hängen von der Betriebsspannung ab. Mit zunehmender Betriebsspannung nimmt die Anzugszeit ab und die Abfallzeit zu, so daß bei gleicher Dauer des Stromimpulses das Einspritzventil länger geöffnet ist und somit eine größere Kraftstoffmenge abspritzt. Da eine Stabilisierung der Versorgungsspannung sehr aufwendig wäre, wird der Einfluß der Spannung auf die Einspritzmenge durch eine gegenläufige Abhängigkeit der Impulsdauer von der Spannung im elektronischen Steuergerät kompensiert.

Die Kraftstoffpumpe wird nicht über den Zündschalter, sondern durch die Pumpensteuerung im elektronischen Steuergerät eingeschaltet. Die Pumpensteuerung verhindert einen Betrieb der Pumpe bei eingeschalteter Zündung, solange der Motor steht. Dadurch wird im Falle eines infolge von Verunreinigungen nicht ganz dicht schließenden Einspritzventils ein Eindringen von Kraftstoff in den betreffenden Zylinder vermieden.

### 3. Aufbau und Wirkungsweise der einzelnen Aggregate

Die Aggregate der bisherigen Jetronic-Anlage wurden bereits ausführlich beschrieben [12]. Im folgenden wird auf die bei den neuen Jetronic-Anlagen unverändert übernommenen Aggregate nur kurz eingegangen, während Änderungen an einigen Aggregaten und neu hinzugekommene Aggregate ausführlicher erläutert werden. Die *Bilder 3* und *4* zeigen die Aggregate einer typischen Sechszylinder-Anlage.

#### 3.1. Elektronisches Steuergerät

Das elektronische Steuergerät ist in der konventionellen Technik gedruckter Schaltungen aufgebaut. Es enthält je nach Ausführung 250 bis 300 Bauelemente, davon etwa 30 Transistoren und 40 Dioden. Die Hauptleiterplatte umfaßt diejenigen Schaltungsteile, welche vom jeweiligen Motortyp unabhängig sind und die sich allenfalls durch verschiedene Abgleichwiderstände unterscheiden. Eine kleine Zusatzplatte enthält die auf den Motor speziell zugeschnittenen Schaltkreise.

*Bild 3* zeigt das Steuergerät mit abgenommenem Deckel, geschnittener Zusatzplatte und teilweise geschnittenen Kühlrippen. Die beiden Leistungstransistoren der Endstufen und eine Leistungsdiode

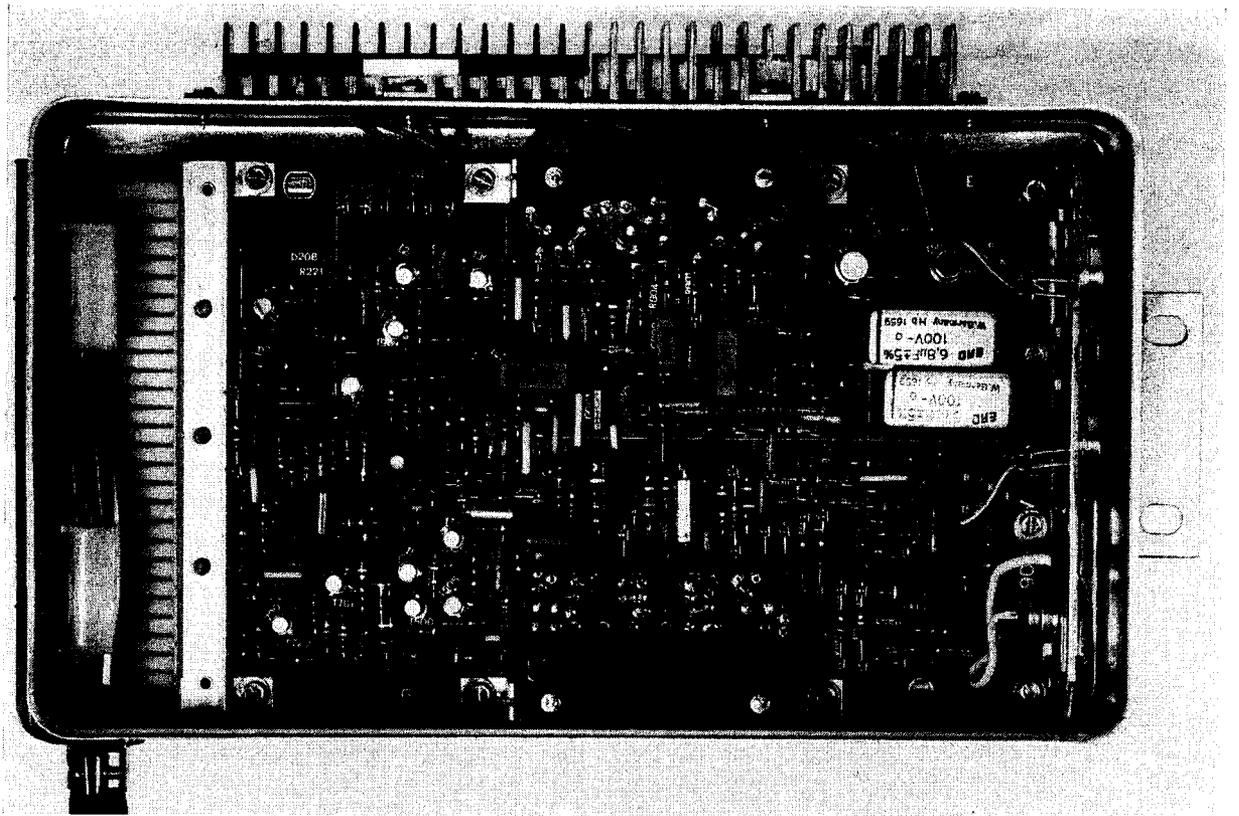


Bild 3: Elektronisches Steuergerät.  
Ansicht bei abgehobenem Deckel, geschnittener Zusatzplatte und teilweise geschnittenem Kühlkörper.

sind auf einem vertikal angeordneten Kühlwinkel montiert. Der teilweise geschnittene Kühlkörper enthält Hochleistungswiderstände, die mit den Einspritzventilen in Reihe geschaltet sind, um einen schnelleren Stromanstieg zu erzielen. Der Kabel-

baum, der das Steuergerät mit den übrigen elektrischen Aggregaten verbindet, endet in einem 25poligen Vielfachstecker, der auf ein mit der Leiterplatte fest verbundenes Gegenstück gesteckt wird. Nach Lösen einer Zugschelle kann ein Kunst-

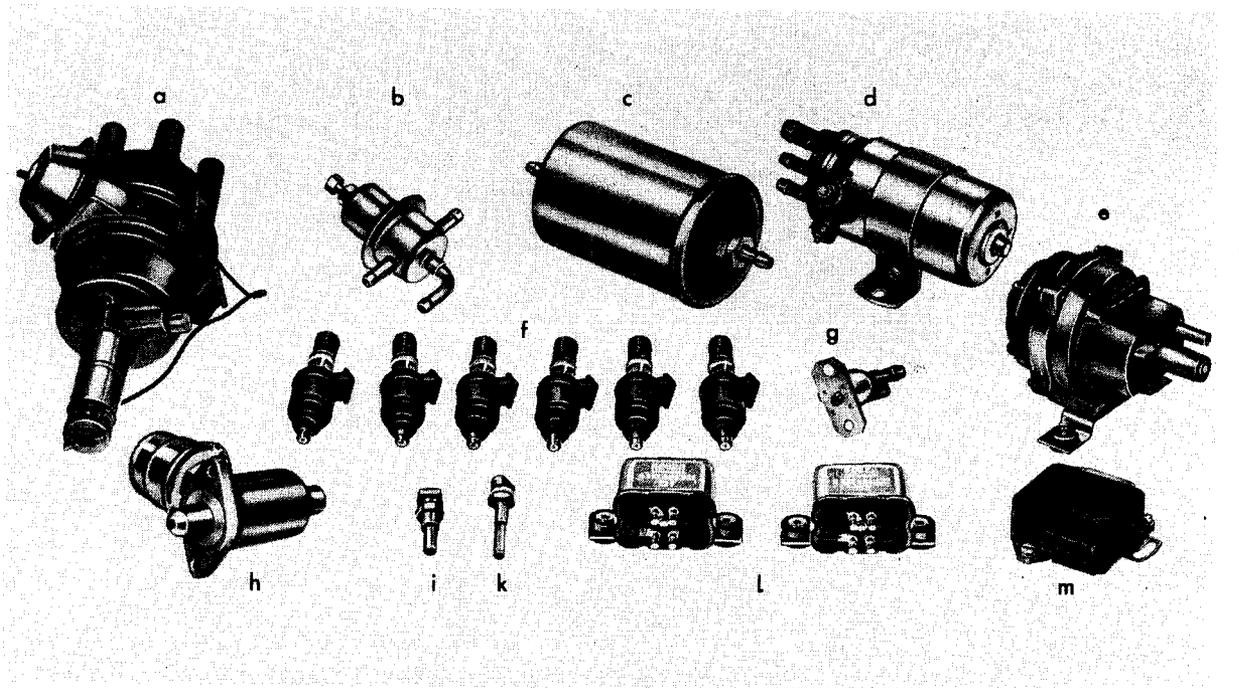


Bild 4: Aggregate der elektronischen Einspritzanlage.

a = Zündverteiler mit Impulsauslösung; b = Druckregler; c = Benzinfilter; d = Kraftstoffpumpe; e = Druckfühler; f = Einspritzventile; g = Kaltstartventil; h = Zusatzluftschieber; i = Temperaturfühler II (Kühlwasser); k = Temperaturfühler I (Ansaugluft); l = Relais für Stromversorgung und Kraftstoffpumpe; m = Drosselklappenschalter.