Benzineinspritzung bei Automobilmotoren: Auszug aus der Antrittsvorlesung

Autor(en): **Troesch, M.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **65 (1947)**

Heft 5

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-55822

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Benzineinspritzung bei Automobilmotoren

Auszug aus der Antrittsvorlesung, gehalten am 9. Februar 1946 von P.-D. Dipl. Ing. M. TROESCH an der E. T. H., Zürich

A. Geschichtlicher Ueberblick

DK 621.434.43

Das Problem der Benzineinspritzung unter Druck in die Zylinder von Verbrennungsmotoren ist heute bei Flugmotoren weitgehend gelöst. Für die wesentlich kleineren Automobil-Motoren mit ihren ganz anders gearteten Betriebsbedingungen bestehen vorerst nur Versuchsausführungen.

Die ältesten Verbrennungsmotoren wurden mit Gas betrieben und waren wegen ihres hohen Gewichtes für den Fahrzeugbetrieb nur wenig geeignet. Trotzdem gelang es bereits im Jahre 1872 Ing. *Hänlein* in Oesterreich mit einem halbstarren Luftschiff, dessen Propeller von einem Gasmotor angetrieben war, zwei Motorflüge auszuführen.

In den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelten in Deutschland die bekannten Motorkonstrukteure *Otto*, *Benz* und *Daimler* leichte Viertaktmotoren für Benzin oder Petrol und ermöglichten so den Bau der ersten Motor-Fahrzeuge. *Benz* schuf im Jahre 1885 das erste betriebsfähige Automobil. Die seither mit Zähigkeit und Geschick verfolgte Verringerung der Leistungsgewichte ermöglichte schliesslich den Motorflug: Im Jahre 1903 gelangen den Gebrüdern *Wright* die ersten Flüge. Darauf entwickelte sich der Flugmotor in unermüdlicher Arbeit vieler begabter Konstrukteure rasch weiter. Er wurde dank seiner hohen Literleistung, seinem niedrigen Treibstoffverbrauch und seinem geringen Leistungsgewicht dem Automotor bald ein Vorbild. Seither besteht ein enger Erfahrungsaustausch zwischen Auto- und Flugmotorkonstrukteuren, der sich in der Entwicklung der Treibstoffe, verschiedener konstruktiver Einzelheiten und der Arbeitsverfahren widerspiegelt. Die gegenseitige Befruchtung kommt besonders deutlich bei der Benzineinspritzung zum Ausdruck.

Die hohen und unerbittlichen Anforderungen, die die kriegführenden Armeen in den beiden Weltkriegen an die Erzeugnisse aller Gebiete der Technik, ganz besonders aber an die Flugmotoren stellten, um im Wettlauf um die Luftüberlegenheit zu siegen, liessen in kurzer Zeit unerhört hohe Leistungen bei grösster Vollkommenheit erreichen, während z. B. im zweiten Weltkrieg der Automobilmotor kaum weiterentwickelt wurde. Werke und Ingenieure der Autoindustrie mussten vielfach in den Dienst des Flugzeugbaues gestellt werden. Es ist ganz natürlich, dass man nun, nach Abschluss der Feindseligkeiten, die im Flugmotorenbau erzielten Fortschritte sinngemäss auf den Automobilmotor zu übertragen versucht.

Aehnlich verlief die Entwicklung der Treibstoffe und ihrer Einführungsorgane. Für die ersten Motorfahrzeuge, deren Triebwerk sich aus dem ortsfesten Gasmotor entwickeln mussten, kam Generatorgas aus Gewichtsgründen nicht in Frage. Benz suchte deshalb für sein erstes Automobil nach einer Vorrichtung, die Benzin *vergasen* sollte. Er glaubte sie in einem Apparat gefunden zu haben, mit dem er seinen Motor betreiben konnte, und nannte sie «kleine Gasfabrik» oder kurz «Vergaser» [1][1]). Dieser Apparat hat jedoch in all seinen verschiedenen Ausführungen das Benzin ebenso wenig vergast, wie unsere heutigen Vergaser; trotzdem wurde der nicht zutreffende Name bis heute beibehalten. Die späteren Forschungen auf dem Gebiete der motorischen Verbrennung haben gezeigt, dass ein vollständiges Vergasen des Benzins unnötig, ja nachteilig wäre; vielmehr ergeben eine möglichst feine Zerstäubung und die vollständige Mischung mit der Verbrennungsluft günstigste Verhältnisse.

B. Die Nachteile des Vergasers

Die Aufgabe des klassischen Vergasers besteht im Zuteilen der Luft, im Zuteilen genügend fein zerstäubten Brennstoffes und im innigen Durchmischen beider Teile. Diese Aufgabe muss für *alle* Betriebsverhältnisse richtig gelöst werden. Wie aus Bild 1 ersichtlich, dient zum Zuteilen der Luft eine Drosselklappe D, während für das Benzin eine kalibrierte Oeffnung K vorhanden ist. Die gute Durchmischung wird dadurch angestrebt, dass das Benzin an der engsten Stelle des Lufttrichters eingeführt wird. Bei dieser Anordnung sind die Geschwindigkeiten von Luft und Benzin an der Mischstelle durch die dort vorhandenen Querschnitte und die jeweilige Motordrehzahl gegeben; sie sind verhältnismässig klein und demzufolge fallen Zerstäubung und Mischung mehr oder weniger mangelhaft aus.

In 60-jähriger Entwicklung wurden die Vergaser stark verbessert. Als Kennzeichen dieser Entwicklung seien genannt: Zusatzdüsen für Leerlauf und Vollast, Nadelventile für Teillast, Automaten für Start und Sparbetrieb, Einspritzvorrichtungen für sofortiges Beschleunigen. Sie alle sorgen für möglichst korrekte Treibstoff-Luftgemische unter den hauptsächlich vorkommenden Betriebszuständen.

Ein grundsätzlicher Fehler ist stehen geblieben: Das Druckgefälle im Lufttrichter ist meist zu gering, um den Treibstoff genügend fein zu zerstäuben. Deshalb liefern die Vergaser meist nur ein heterogenes Gemisch von Luft mit wenig Benzindampf und mehr oder weniger feinen Benzintröpfchen. Diese Tröpfchen haben die nachteilige Eigenschaft, sich bei Geschwindigkeitswechsel und beim Anprallen an die Wände zu grösseren Tropfen zu vereinigen und längs der Kanalwände als dünne unregelmässige Flüssigkeitsbänder ihren Weg zu den verschiedenen Zylindern fortzusetzen. Hierzu kommt noch eine weitere Erschwerung: Verfolgt man den Strom des Treibstoff-Luftgemisches z. B. im einfachen Falle eines Vierzylindermotors (Bild 1), so kann man leicht erkennen, dass die Treibstoffbeschickung der einzelnen Zylinder infolge der verschieden langen und verschieden geformten Wege vom Vergaser zu den einzelnen Saugventilen, sowie durch die periodischen Richtungswechsel entsprechend der Zündfolge (z. B. 1-3-4-2) sehr ungleich ausfallen muss. Die Ansaugdauer eines Zylinders beträgt z. B. bei 3000 U/min nur rd. 0,015 s; die Richtungswechsel folgen sich also sehr rasch. Offensichtlich stellt sich in der Saugleitung bei A, Bild 1, eine kritische Zone mit starker Treibstoffansammlung ein. Unweigerlich erhalten die innern Zylinder 2 und 3 mehr und reicheres Gemisch. Aehnliche, wenn auch weniger kritische Stellen bilden die Saugrohrkrümmer bei B, indem sich dort Tröpfchen durch Auszentrifugieren anreichern und zu Treibstoffüberschuss in den äusseren Zylindern 1 und 4 führen können. Diese Erscheinung stellt sich jedoch unter anderen Betriebsbedingungen ein als die oben beschriebene Gemischanreicherung in den inneren Zylindern. Was in die Zylinder gelangt, ist nicht ein homogenes Gemisch von Treibstoffnebel und Luft, sondern ein mit etwas Benzindampf und Tröpfchen ungleichmässig vermischter, schneller Luftstrom und ein langsam den Kanalwänden entlang strömender Benzinfilm.

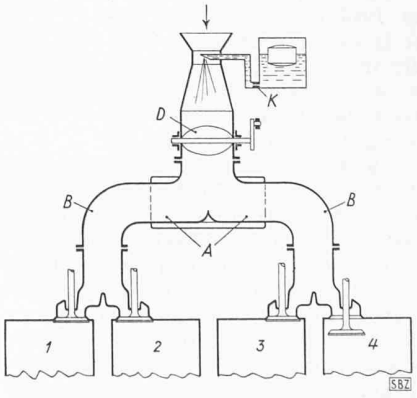


Bild 1. Prinzipschema der üblichen Gemischbildung und Gemischverteilung beim Vierzylinder-Vergasermotor.

A und B Zonen von vorübergehender Gemischanreicherung,

D Drosselklappe,

K Treibstoff-Zuteildüse

Aus dieser Betrachtung erkennt man, dass Form und Verlauf der Wandungen, die den Gemischstrom begrenzen, für die Güte des Gemisches und die Gleichmässigkeit seiner Verteilung von ausschlaggebendem Einfluss sind. Naturgemäss wachsen die Schwierigkeiten mit der Zylinderzahl. Verschiedene Konstrukteure haben sie durch Anwenden mehrerer Vergaser zu überwinden versucht.

Unterschiede in der Treibstoffzuteilung zu den einzelnen Zylindern können beim laufenden Motor in einfacher Weise an den verschiedenen Farben der Auspuff-Flammen erkannt werden. Genau lassen sie sich durch Analysieren der Auspuffgase der einzelnen Zylinder bestimmen. Amerikanische Forscher stellten dabei Abweichungen bis zu 7 % fest [2]. Sie können nicht einfach durch geringere Treibstoffzutei-

[1]) Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Artikels.

lung im Vergaser verringert werden. Denn dadurch würden die andern Zylinder ein zu armes Gemisch erhalten und es würden sich Ueberhitzungen, Selbstzündungen und Klopfen mit allen ihren ernsten Folgen einstellen. Der Vergaserbetrieb erfordert somit im Gegensatz zum Dieselverfahren eine unnötig reiche Gemischeinstellung und führt daher zu einer Treibstoffverschwendung.

Um die Nachteile ungleicher Gemischverteilung einigermassen zu mildern, heizt man die gefährlichsten Stellen des Saugrohres mit warmem Kühlwasser oder mit Auspuffgasen. Man erreicht dadurch eine Verringerung der Benzinansammlungen. Anderseits steigt aber die Kompressionsanfangstemperatur, wodurch die Zylinderfüllung und die Leistung abnehmen. Zudem wird der thermische Wirkungsgrad ungünstig beeinflusst [3], [4].

Die Fehler der Gemischbildung im Vergaser werden, wie oben festgestellt wurde, durch das Saugrohr teilweise noch vergrössert. Ausserdem behindern diese Fehler ganz allgemein auch die Weiterentwicklung des Verbrennungsmotors, namentlich in der Richtung einer Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses und der Literleistung.

Beim Automobilmotor, wo sich Leistung und Drehzahl fortwährend ändern, ergeben schlechte Gemischbildung und ungleiche Gemischverteilung einen hohen Treibstoffverbrauch. Beim Flugmotor mit Vergaser kommen noch folgende weitere Nachteile hinzu: Es kann bei Akrobatik, Kampfflug und Start auf unebenen Rollfeldern die Treibstoffzuteilung und damit die Leistung ganz oder teilweise aussetzen. Beim Flug in grossen Höhen besteht die Gefahr, dass der Vergaser vereist und dass Betriebsstörungen infolge Dampfblasenbildung im Vergaser vorkommen. Diese ernste Beeinträchtigung der Flugsicherheit beschleunigte die Forschung auf dem Gebiete der Benzineinspritzung.

C. Zur Entwicklung der Treibstoffeinspritzung beim Flugmotor

Die Aufgabe, eine genau abgemessene Treibstoffmenge innerhalb eines bestimmten, äusserst kleinen Zeitintervalls in fein zerstäubtem Zustand in den unter hohem Druck stehenden Verbrennungsraum einer Brennkraftmaschine einzuspritzen, ist beim Dieselmotor nach Ueberwindung erheblicher Schwierigkeiten vor rund 25 Jahren gelöst worden. Beim Benzinmotor (der nach dem Otto-Verfahren arbeitet), erscheint das Problem wesentlich einfacher. Man spritzt hier in den Luftstrom vor oder nach dem Saugventil oder in den Luftkanal vor dem Aufladegebläse, also in einen Raum ohne Ueberdruck ein. Die verfügbare Einspritzdauer entspricht rd. einer halben Umdrehung, ist also viel länger als beim Dieselmotor. Für die Gemischbildung steht die Zeit zwischen Einspritzung und Zündung zur Verfügung, während beim Dieselmotor beides zeitlich zusammenfällt. Trotzdem erforderte die Benzineinspritzung eine mühsame und lange Entwicklungsarbeit, die in engem Zusammenwirken der Ingenieure von Flug- und Automobilmotorenwerken geleistet wurde. Diese Zusammenarbeit brachte manche Erleichterung und befruchtete beide Gebiete. Sie zeigt, dass Forschungsingenieur und Konstrukteur nicht zu sehr in ihren Spezialproblemen aufgehen dürfen, sondern darnach trachten müssen, das ganze Gebiet der Technik zu überblicken. Dies gibt ihnen nicht nur wertvolle Anregungen und führt sie auf neuen Wegen zur Lösung ihrer Sonderaufgaben, sondern sie gewinnen dadurch auch den Masstab, der sie Wesentliches von Unwesentlichem unterscheiden und die Fülle der Vorschläge und Möglichkeiten richtig beurteilen lässt.

Interessant ist die geschichtliche Entwicklung. Schon die ersten Flugmotoren der Gebrüder Wright aus dem Jahre 1903, sowie der französische Antoinette V 8-Motor von 50 PS aus dem Jahre 1908 [5] wiesen Brennstoffeinspritzung auf. Sie blieben allerdings in diesem Punkt vereinzelte Ausnahmen. Die stetig verbesserten Vergaser setzten sich beim Flugmotor wie beim Automobilmotor durch und beherrschten lange Zeit, bei letztgenannten noch heute, das Feld.

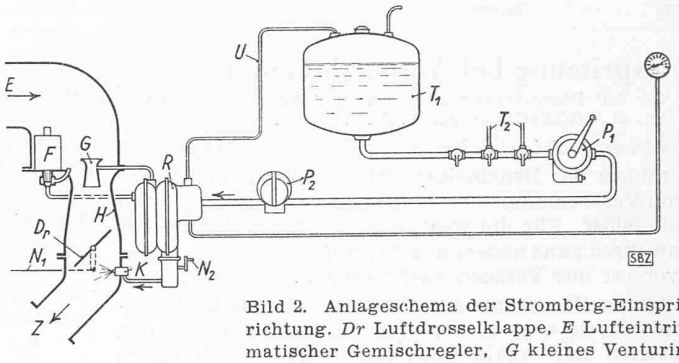


Bild 2. Anlageschema der Stromberg-Einspritzvorrichtung. *Dr* Luftdrosselklappe, *E* Lufteintritt, *F* automatischer Gemischregler, *G* kleines Venturirohr, *H* grosses Venturirohr, *K* Einspritzdüse, N_1 Bedienungsgestänge zu *Dr*, N_2 Bedienungshebel zum Drehschieber für die Gemischeinstellung, P_1 Handpumpe, P_2 Treibstoffpumpe, *R* Regulierblock, T_1 Treibstoffbehälter, T_2 Leitungen für weitere Treibstoffbehälter, *U* Entlüftungsleitung, *Z* Saugstutzen des Aufladeverdichters

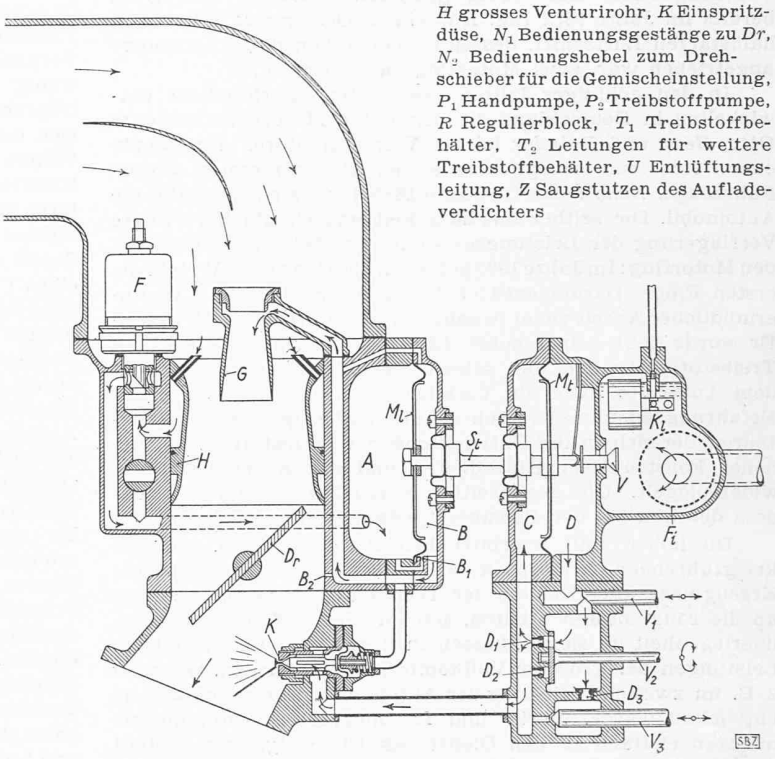


Bild 3. Schema der Regeleinheit der Stromberg-Einspritzvorrichtung. *A* u. *B* luftseitige Regelkammern, B_1 u. B_2 Blenden im Regelluftstrom, *C* u. *D* treibstoffseitige Regelkammern, D_1 Düse für wirtschaftlichen Flug (mageres Gemisch), D_2 id. (reiches Gemisch), D_3 Düse für Hochleistung (sehr reiches Gemisch), *Dr* Luftdrosselklappe, *F* automatischer Gemischregler (beeinflusst Regelluftdruck in *A*), *Fi* Treibstoffilter, *G* kleines Venturirohr, *H* grosses Venturirohr, *K* Einspritzdüse, *Kl* Entlüftungskammer, *Ml* Luft-Regelmembrane, *Mt* Treibstoff-Regelmembrane, *St* Regelgestänge, *V* Hauptregelventil, V_1 Leerlaufschieber, V_2 Drehschieber für wirtschaftlichen Flug (mageres oder reiches Gemisch), V_3 Zuschaltventil für Hochleistung

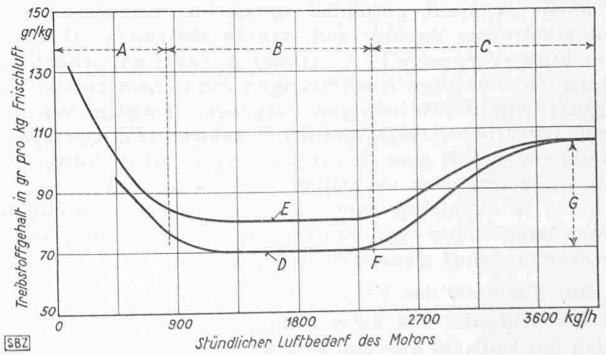


Bild 4. Gemischverhältnis eines Flugmotors in Abhängigkeit der Belastung. *A* Leerlaufbereich, *B* normaler Betriebsbereich für wirtschaftlichen Flug, *C* Bereich für Start und forcierten Flug, *D* Ausschliesslich durch den Gemischregler gesteuerte Zuteilung bei Einstellung auf mageres Gemisch, *E* id. bei Einstellung auf reiches Gemisch, *F* Beginn des Oeffnens der Zuschaltventile für Hochleistung, *G* durch Hochleistungsdüse begrenzte Gemischanreicherung

Erst im Jahre 1936 hörte man aus den U. S. A. von der *Marvel-Shebler*-Einspritzung, mit der wahlweise Benzin oder Petroleum in das Saugrohr oder unmittelbar in die Zylinder eingespritzt werden konnte [6]. Der Einspritzdruck verän-

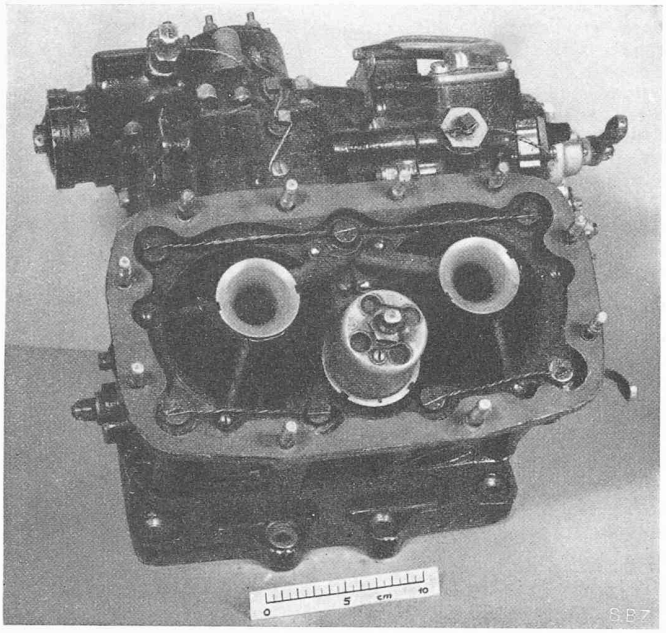


Bild 5. Stromberg-Einspritzvorrichtung einer fliegenden Festung

derte sich je nach der Drehzahl von 6 bis 12 atü. Die Einspritzvorrichtungen, die hier [7] bereits beschrieben worden sind, wurden serienmässig in kleine «Continental»-Flugmotoren eingebaut. Im Automobilbetrieb konnten sie sich nicht durchsetzen; sehr wahrscheinlich traten Regulierschwierigkeiten auf. Die weitere Entwicklung in den U. S. A. führte zum Einspritzvergaser von *Stromberg* [8], [9], [10] mit dem seit 1938 Verkehrsflugzeuge und später auch amerikanische Kampfmaschinen ausgerüstet wurden.

Es lohnt sich, Bau und Wirkungsweise dieser interessanten Einrichtung näher zu betrachten, da sie einen wertvollen Einblick in die Probleme der Benzineinspritzung gewähren. Wie aus dem Schema, Bild 2, ersichtlich, wird das Benzin bei K, also *nach* der Drosselklappe Dr in den Luftstrom eingespritzt; durch diese Klappe selbst strömt nur Luft. Verschiedene Nachteile des Schwimmervergasers sind dadurch vermieden. Die Drosselklappe wird vom Piloten mit dem Gestänge N_1 von Hand eingestellt. Die Organe für die Benzinzuteilung sind auf Bild 3 halbschematisch in grösserem Masstab dargestellt. Darnach wird die Luft vom Ladegebläse zunächst durch eine «Drosseleinheit», bestehend aus den zwei ineinander gebauten Venturirohren G und H, und anschliessend durch die handbetätigte Drosselklappe D_r angesogen. Dabei entsteht im engsten Querschnitt des kleinen Venturirohres G ein Unterdruck, der mit der durchströmenden Luftmenge zunimmt.

Zur Regelung der Gemischzuteilung in Abhängigkeit der angesogenen Luftmenge, also der Belastung, dient die Luftmembrane M_l (Bild 3), die über ein kurzes Gestänge S_t und die Treibstoffmembrane M_t das Hauptregelventil V betätigt. Die Kammer A auf der linken Seite der Luftmembrane M_l steht durch Bohrungen mit dem Luftkanal am Eintritt in das grosse Venturirohr in Verbindung, während die Kammer B mit der engsten Stelle des kleinen Venturirohres verbunden ist. Infolge des dort herrschenden Unterdruckes strömt stets eine kleine Luftmenge vom Saugkanal durch die Kammer A, die Blende B_1 nach der Kammer B und von dort zum Teil nach dem kleinen Venturirohr G, zum Teil durch die Blende B_2, die hauptsächlich der Entwässerung dient, nach dem Saugraum des Ladegebläses. Dieser Luftstrom wird durch den automatischen Gemischregler F mit zunehmender Flughöhe gedrosselt. Dadurch wird der Luftdruck in der Kammer A korrigiert und mit dem Hauptregelventil V ein ärmeres Gemisch eingestellt. Die Blende B_1 drosselt den Luftstrom praktisch auf den Unterdruck im kleinen Venturirohr ab, so dass also der Luftdruck in der Kammer B gleich dem an der engsten Stelle von G ist, also nur von der Luftmenge abhängt, die dem Motor zuströmt.

Der Treibstoff wird dem Regler durch die Pumpe P_2 (Bild 2) unter konstantem Druck von rd. 1 atü zugeteilt; er

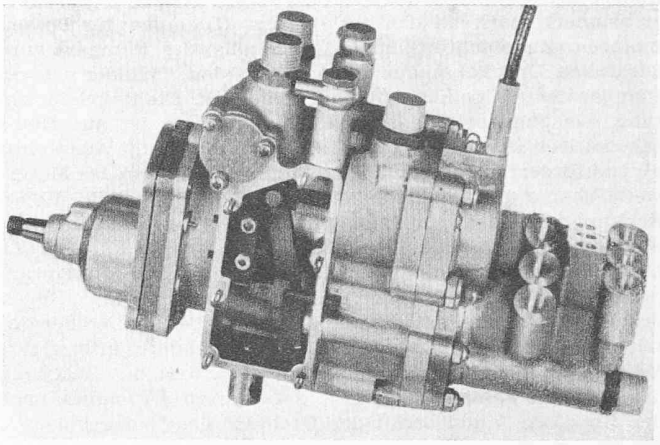


Bild 6. S. U. Einspritzpumpe für Meteor-Tankmotoren von Rolls-Royce für direkte Einspritzung in die Zylinder

durchströmt zunächst einen Filter F_i (Bild 3) und sammelt sich in der Entlüftungskammer K_l, an deren Oberteil ein Schwimmerventil die Verbindung mit dem Oberteil des Treibstoffbehälters T_1 (Bild 2) regelt und ausgeschiedene Luft dorthin abströmen lässt. Aus der Entlüftungskammer K_l tritt der Treibstoff durch das Hauptregelventil V in die Kammer D, in deren Unterteil verschiedene Düsen für die Zuteilung zum Einspritzventil K angeordnet sind.

Das Treibstoff-Luftgemisch muss sich den verschiedenen Betriebsarten in weiten Grenzen anpassen. Bei mittleren Belastungen und mittleren Luftmengen, wie sie im wirtschaftlich günstigen Flugbereich vorkommen, ist das Gemisch verhältnismässig mager (Bild 4, Mittelteil B). Bei grosser Belastung, also im forcierten Flug und beim Starten, muss mit reichem Gemisch gearbeitet werden (Betriebsbereich C), ebenso im Leerlauf (Bereich A). Zudem erweist es sich als vorteilhaft, für mittlere Belastungen mehrere verschieden reiche Gemische einstellen zu können. Diesen Anforderungen entsprechend sind zwischen den Kammern C und D (Bild 3) verschiedene Düsen eingebaut, die durch geeignete Abschlussorgane geöffnet oder geschlossen werden können.

Das Einspritzventil K wird durch den Treibstoffdruck selbst gesteuert. Es besteht aus einer Nadel mit konischem Sitz, die vorn einen Verteilteller trägt und hinten durch eine Feder belastet ist. Eine Membran schliesst den vom Brennstoff angefüllten Raum gegen die Federkammer ab, die in gewissen Ausführungen mit der engsten Stelle im kleinen Venturirohr G verbunden ist, also unter Unterdruck steht. Bei Stillstand wird das Ventil durch den Druck der Feder geschlossen gehalten. Steigt der Treibstoffdruck auf etwa 0,35 atü, so wird die Federkraft überwunden, das Ventil öffnet sich und spritzt Benzin in den Luftstrom ein. Der Durchflussquerschnitt an der engsten Stelle des Ventils richtet sich nach der zugeteilten Treibstoffmenge, während der Einspritzdruck nur sehr wenig mit dieser Menge ansteigt.

Die Zuteilung erfolgt nun einerseits durch Betätigen der Absperrorgane zu den einzelnen Düsen, die vom Raum D zum Raum C hinüber führen, und anderseits durch selbsttätiges Regeln des Treibstoffdruckes in der Kammer D mit dem Regelventil V nach Massgabe der Druckdifferenz zwischen den Kammern A und B zu beiden Seiten der Luftmembrane, also in Abhängigkeit der Belastung. Durch diese kombinierte Steuerung ergibt sich der auf Bild 4 dargestellte Verlauf des Mischungsverhältnisses.

Bild 5 zeigt den Einspritzvergaser einer «Fliegenden Festung», der nach dem Stromberg-System gebaut ist. Deutlich sind in den beiden Saugkanälen die Venturirohre für die Leistungsregelung, sowie dazwischen der automatische Gemischregler sichtbar. Die ganze Einrichtung ist im Verhältnis zum Motor sehr klein; sie wiegt nur 18,5 kg.

Von den *deutschen Flugmotoren* erhielt man die erste wohl ungewollte Nachricht anlässlich des Flugmeetings 1937 in Zürich, als *Ernst Udet* bei der Geschwindigkeitskonkurrenz mit seiner Messerschmidt-Maschine «wegen Störung an der Einspritzung» notlanden musste. Sein Motor arbeitete also mit Benzineinspritzung. Die dazu gehörige Pumpe wurde von

Robert Bosch, Stuttgart, entwickelt; ihren Aufbau zeigt Bild 7; er erinnert stark an den der Brennstoffpumpen für Dieselmotoren. Zur Dichtung und Schmierung des Plungers wird zusätzlich Drucköl angewendet. Für jeden Zylinder ist ein Pumpenelement gemäss Bild 7 erforderlich. Die Regeleinrichtung des zugehörigen Daimler-Benz-Motors ist auf Bild 8 schematisch dargestellt. Das Ladegebläse 1 saugt Aussenluft ab und fördert sie den Zylindern 2 zu. Es wird von der Motorwelle über die hydraulische Kupplung 3 angetrieben, dessen Schlupf selbsttätig nach Massgabe des äusseren Luftdruckes, also der Flughöhe, derart verändert wird, dass der Ladedruck bis zu einer bestimmten Grenzhöhe (Volldruckhöhe) unveränderlich bleibt (1,5 ata). Hierfür wirkt auf die luftleere Regeldose 6 des Steuergerätes 4 der durch die Leitung 5 übermittelte Aussendruck. Die durch dessen Aenderung bewirkte Verschiebung des Steuerschiebers 7 verändert die Zuteilung des von den Zahnradpumpen 8 geförderten Drucköles nach der Kupplung 3 und damit der Drehzahl des Ladegebläses 1.

Der Treibstoff fliesst vom Tank den Zuteilpumpen 9 zu, die ihn unter einen gegenüber dem Ladedruck höheren Druck setzen und über den Entlüfter 10 der Einspritzpumpe 11 zuführen. Die einzelnen Elemente dieser Pumpe spritzen ihn während des jeweiligen Saughubes mittels der Einspritzventile 12 in die einzelnen Zylinder ein.

Der drehbare Innenkörper des Entlüfters 10 stellt sich bei jeder Lage des Flugzeuges so ein, dass die seitlich angeordneten, in Schnitt AA sichtbaren Ueberlaufkanten 10c, an denen sich Luft und Treibstoff trennen, bezüglich der resultierenden Beschleunigung von Erde und Flugzeug «oben» liegen, während der entlüftete Treibstoff «unten» weiterfliesst.

Die Einspritzmenge wird selbsttätig durch Verschieben der Reglerstange 11a in Abhängigkeit des Saugdruckes vor den Zylindern, des mit der Flughöhe veränderlichen Aussendruckes und der Ladelufttemperatur verändert. Dazu wirkt der Saugdruck über die Leitung 14 auf die Membrane 13, deren andere Seite mit der Aussenluft verbunden ist. Zur Reglung in Abhängigkeit des Aussendruckes dient die luftleere Dose 15, die an einem vom Temperaturregler 16 beeinflussten Hebel federnd aufgehängt ist.

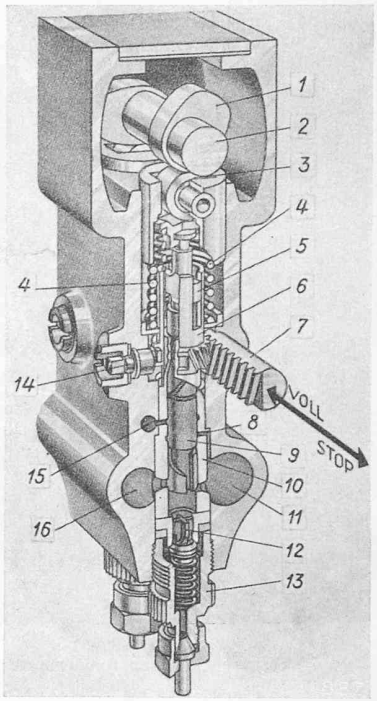


Bild 7. Element einer Bosch-Einspritzpumpe für Flugmotoren
1 Nocken, 2 Nockenwelle, 3 Rollenstöppel, 4 Rückführfeder, 5 Mitnehmerflügel, 6 Regelhülse, 7 Regelstange, 8 Entlastungsnut, 9 Kolben, 10 Zylinder, 11 Saugraum, 12 Druckventil, 13 Drucknippel, 14 Elementeinstellung, 15 Leckölsperre, 16 Rückstossraum

Im Saugrohr sind zwei Drosselklappen 17 und 18 eingebaut. Davon wird die Regelklappe 17 durch den Ladedruckregler 19 derart gesteuert, dass der Druck nach Klappe 17 konstant bleibt. Hierfür übermittelt die Leitung 20 den Ladedruck nach der Kammer, in der sich die luftleere Regeldose 21 befindet. Diese beeinflusst den Steuerschieber 22, der den Druckölzufluss zum Servomotor 23 steuert.

Die Leistungsklappe 18 betätigt der Pilot von Hand mit dem Hebel 24. Zum Starten stellt er diesen Hebel auf 110 %, wobei die Klappe voll geöffnet ist. Eine Minute nach dem Start löst ein Zeitautomat, der bei 25 angreift, selbsttätig eine

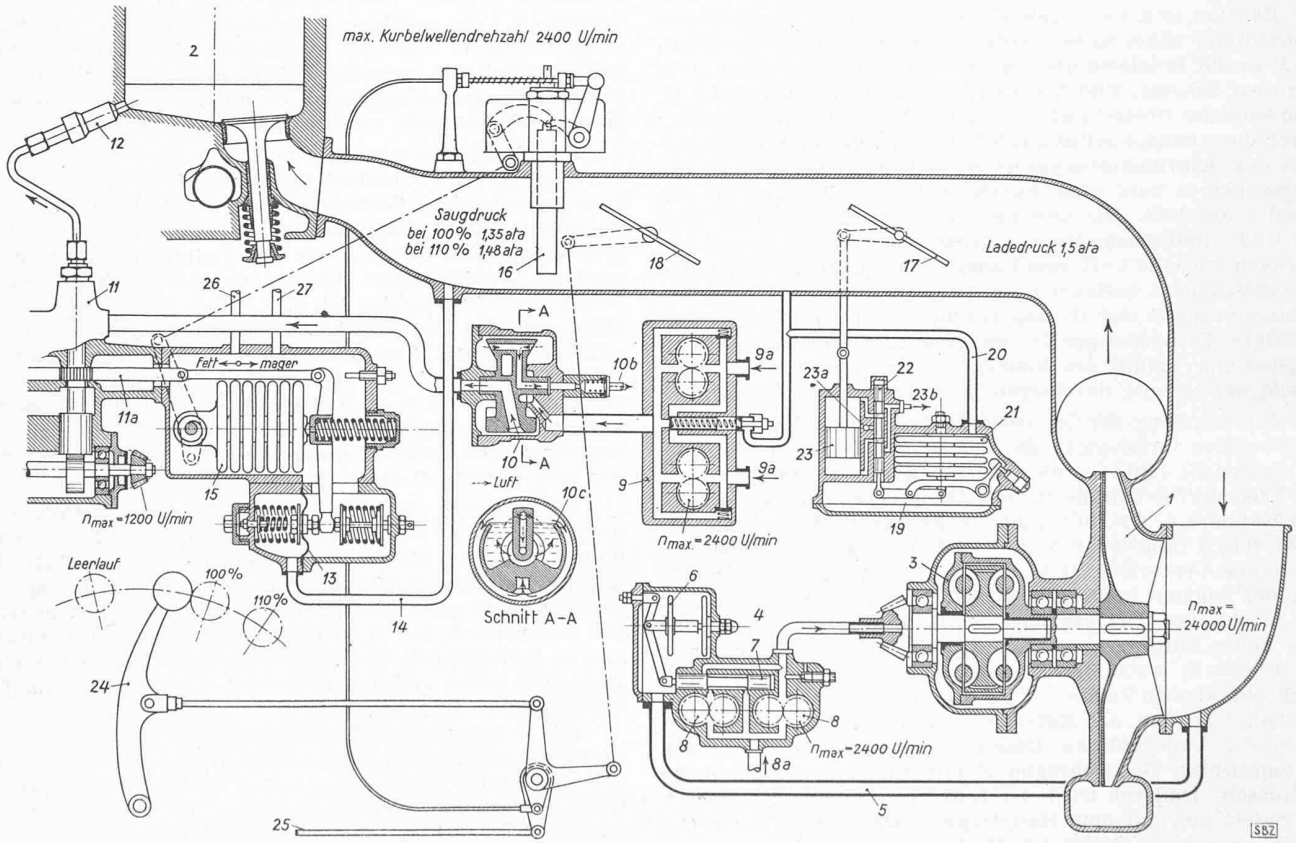


Bild 8. Schema der selbsttätigen Steuerung des Daimler-Benz-Flugmotors. 1 Ladegebläse, 2 Motorzylinder, 3 hydraulische Kupplung für stufenlose Geschwindigkeitsregelung des Ladegebläses, 4 Steuergerät zu 3, 5 Luftleitung zur Uebermittlung des Regeldruckes, 6 Regeldose, 7 Steuerschieber, 8 Zahnradpumpen, 8a Oelleitung von der Schmierölpumpe, 9 Treibstoff-Zuteilpumpen, 9a Anschluss der Zubringerleitungen vom Treibstoff-Tank, 10 Entlüfter, 10b Luftleitung nach dem Tank, 10c Ueberlaufkanten, 11 Einspritzpumpe, 11a Regelstange, 12 Einspritzventil, 13 Membrane für den Saugdruck, 14 Zugehörige Regelluftleitung, 15 Luftleere Regeldose zur Regelung in Abhängigkeit des äussern Luftdruckes (Flughöhe), 16 Temperaturfühler zur Regelung in Abhängigkeit der Ladelufttemperatur, 17 Regelklappe, 18 Leistungsklappe, 19 Ladedruckregler, 20 Zugehörige Regelluftleitung, 21 Regeldose, 22 Steuerschieber, 23 Servomotor, 23a Drucköl-Zutritt, 23b Oel-Rücklauf, 24 Betätigungshebel am Pilotensitz, 25 Ausklinkstange des Zeitautomaten, 26 Belüftung, 27 Abfüllrohr

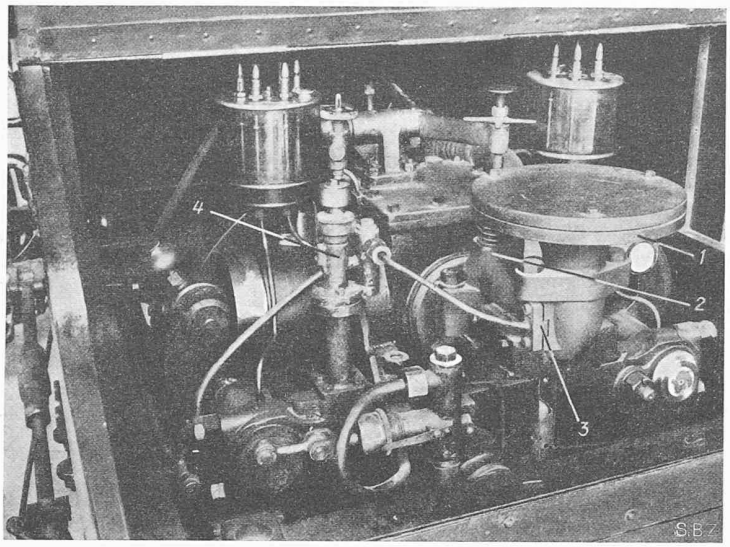


Bild 9. Einzylinder-Balanciermotor von Saurer aus dem Jahre 1896.
1 Luftfilter (Schlitz), 2 Einlassventil, 3 Einspritzdüse, 4 Einspritzpumpe



Bild 10. Das erste Saurer Personenautomobil (1896).
Im Heck eingebauter Motor mit Einspritzung von Benzin oder Petrol

Kupplung im Uebertragungsgestänge, worauf Hebel 24 und Klappe 18 in ihre normale Betriebsstellung zurückkehren. Weiter wirkt der Temperaturfühler 16 auf die Leistungsklappe 18 ein.

Die beschriebene Regeleinrichtung entlastet den Piloten weitgehend. Sie ist reichlich kompliziert. Beim Automobilmotor kann sie jedoch wesentlich einfacher gestaltet werden, indem dort voraussichtlich nur die Drosselklappenstellung und der Saugrohrdruck berücksichtigt werden müssen.

D. Die heutigen Systeme der Treibstoffeinspritzung für Motorfahrzeuge

Auch bei den Motoren für Landfahrzeuge bietet ein Rückblick auf die geschichtliche Entwicklung der Treibstoffeinspritzung Bemerkenswertes. Die erste Ausführung datiert aus dem Jahre 1896 und wurde von *H. Saurer* in Arbon für seinen ersten Personenwagen (Bild 10) entwickelt [12]. Sein Motor (Bild 9) wies einen horizontalen Zylinder mit zwei gegenläufigen Kolben auf, die über Balancierhebel auf die Kurbelwelle wirkten. Die Treibstoffpumpe wird vom Kipphebel für das eine Saugventil angetrieben und spritzt den Treibstoff jeweilen während des Oeffnens dieses Ventiles unmittelbar neben dem Saugventil in den Luftstrom ein. Hervorzuheben ist die Verwendung einer Art von Spaltfilter für die Verbrennungsluft. Wenn auch die konstruktive Durchbildung des Triebwerkes noch sehr weit von dem entfernt ist, was man heute unter Leichtbau versteht, so zeigen doch der Motor und seine Anordnung im Heck Konstruktionsmerkmale, die der damaligen Zeit weit vorauseilten.

Viele Jahre verstrichen, ohne dass eine Anwendung der Benzineinspritzung bei Landfahrzeugen bekannt geworden wäre. Erst Ende 1945 hörte man von der Verwendung von Brennstoff-Einspritzpumpen durch die bekannten Rolls Royce-Werke in Derby für die Merlin-Motoren von Mosquito-Flugzeugen und für die Meteor-Motoren, die weitgehend zum Antrieb von Panzerkampfwagen benutzt wurden [13], [14]. Bemerkenswert ist, dass diese erste serienmässige Anwendung der direkten Benzineinspritzung für Landfahrzeuge durch eine Weltfirma erfolgte, die sowohl im Flugmotorenals auch im Automobilbau Hervorragendes geleistet hat. Bild 6, S. 59 stellt eine S. U. Treibstoff-Einspritzpumpe mit zwölf Förderplungern für einen Meteor-Tank-Motor dar, die ähnlich wie bei der Marvel-Shebler-Pumpe von einer Taumelscheibe bewegt werden.

In Italien wurde das im Jahre 1936 von Fuscaldo patentierte System, bei dem das Benzin mit einer Zahnradpumpe unter Druck gesetzt und mit elektrisch gesteuerten Einspritzventilen auf die einzelnen Zylinder verteilt wird [15], im Jahre 1938 auf einem Guzzi-Motorrad von 250 cm³ Hubvolumen mit Erfolg eingebaut [7]. Die weitere Entwicklung dieses Verfahrens führte 1940 zur Ausrüstung des achtzylindrigen Motors (2,3 l Hubvolumen) eines Alfa Romeo-Sportwagens. Dieser Wagen bestand das schwere «Mille-Miglia-Rennen» an fünfter Stelle.

Von Deutschland erfuhr man erst nach dem Zusammenbruch durch die Engländer, dass der BMW-Sportwagen der Bayrischen Motoren-Werke, München, von 2 l Hubvolumen versuchsweise mit direkter Einspritzung in die Zylinder lief, dass er dabei besser startete und bei niedrigen Drehzahlen mehr leistete als mit Vergaser. Die Spitzenleistung soll allerdings nur um 2 % zugenommen haben. Die Mehrkosten gegenüber Ausführung mit Vergasern wird mit 200 RM angegeben. Man beabsichtigte nach dem Krieg die Motoren von 2 und 3 1/2 l Hubvolumen für Sportwagen mit Benzineinspritzung auszurüsten [16].

Nach persönlichen Mitteilungen aus zuverlässigen Quellen sollen verschiedene Firmen trotz starker Belastung durch Kriegsaufträge das Problem der Benzineinspritzung im Geheimen weiter verfolgt haben. So beabsichtigten die Mercedes-Benz-Werke ihre serienmässige Anwendung und erhielten von einem Unterwerk die Zusicherung der Lieferung der Pumpen in der erforderlichen Zahl sofort nach Kriegsende.

In Frankreich haben während der Besetzung verschiedene Konstrukteure Versuche mit Einspritzung durchgeführt. Wegen Benzinmangel benützten sie Alkohol und sollen damit befriedigende Ergebnisse erzielt haben.

In der Schweiz führte Prof. Dr. *G. Eichelberg* vor dem Krieg eingehende Versuche mit Benzineinspritzung durch. Sein Versuchsmotor war in der Luftfahrt-Abteilung der Landesausstellung in Zürich 1939 zu sehen [17]. Im Jahre 1940 entwickelte die *Scintilla A.-G.*, Solothurn, zwei verschiedene Einspritzpumpensysteme; das eine diente zur Brennstoffeinspritzung in das Saugrohr und war zum nachträglichen Einbau in Fahrzeugmotoren vorgesehen; das andere war für die direkte Einspritzung in die einzelnen Zylinder bestimmt und lehnte sich in Aufbau und Wirkungsweise weitgehend der bekannten für Dieselmotoren verwendeten Bauweise an [18]. Leider verhinderte der Brennstoffmangel die Weiterentwicklung während des Krieges. Heute verfolgen verschiedene Schweizerfirmen das Problem intensiv weiter, doch sind nähere Angaben hierüber nicht erhältlich.

Bei der Uebertragung der Brennstoffeinspritzung vom Flugmotor auf den Fahrzeugmotor ist die entscheidende Verschiedenheit der Betriebsbedingungen zu berücksichtigen. Während das Flugzeug lange Zeit mit gleichbleibender Geschwindigkeit fliegt und sein Motor dabei mit konstanter Drehzahl und Belastung arbeitet, ändern sich beim Automobilmotor diese Betriebsgrössen sozusagen fortwährend. So folgen sich z. B. im Stadtverkehr oder beim Fahren auf einer kurvenreichen Bergstrasse Anfahren, Beschleunigen, Schalten, Bremsen und Anhalten rasch und unregelmässig hintereinander. Diesem Wechsel müssen Regel- und Treibstoffzuteilorgane angepasst werden. Diese Anpassung erfordert noch eine grosse Entwicklungsarbeit. Gelingt sie, so dürfen mit dem Einführen der Benzineinspritzung beim Automobilmotor grössere Ersparnisse erwartet werden, als sie beim Flugmotor bis heute schon erzielt worden sind, weil der bisherige Vergaser die raschen Wechsel der Betriebsbedingungen nur mit grossem Treibstoffüberschuss bewältigen kann.

E. Zusammenfassung

Die Benzineinspritzung ergibt gegenüber den bisher üblichen Vergasern bei Automobilmotoren folgende Vorteile:

1. Treibstoffersparnis infolge guter Zerstäubung und gleichmässiger Verteilung auf die einzelnen Zylinder.
2. Höhere Literleistung infolge höherem volumetrischem und thermischem Wirkungsgrad; Möglichkeit der Leistungssteigerung durch Erhöhen des Verdichtungsverhältnisses.
3. Geringerer Verschleiss von Zylinder, Kolben und Ventilen infolge richtiger Treibstoffzuteilung, namentlich beim Anlassen und Anfahren.
4. Möglichkeit der Weiterentwicklung des Zweitakt- und Aufladeverfahrens zu besonders hohen Literleistungen, wie es bei Flugmotoren z. T. bereits weitgehend verwirklicht wurde.

Als Nachteil ist eine gewisse Komplikation des Gemischbildungssystems zu nennen, das dadurch kostspieliger und störanfälliger sein könnte. Hier ist aber auf die Bewährung der Benzineinspritzung in mehrjährigem Flugbetrieb hinzuweisen, und die hohe dort verlangte und auch tatsächlich erreichte Betriebsicherheit lässt erkennen, dass die heutigen Zuteil- und Zerstäubungsorgane in Konstruktion und Ausführung den an sie gestellten Anforderungen vollauf genügen. Die höheren Kosten lassen sich mit der erzielbaren Treibstoffersparnis in zwei bis drei Jahren amortisieren. Diese Kosten dürften mit der Steigerung der Stückzahl der Fabrikationsserien weiter erheblich gesenkt werden können.

Es lohnt sich, in diesem Zusammenhang an einige im Automobilbau eingeführte Neukonstruktionen zu erinnern, die anfänglich wegen ihrer Komplikation angefochten wurden, sich später aber durchsetzten und nun als unerlässliche Organe gelten. Wir nennen hier: den elektrischen Anlasser, eingeführt von Cadillac im Jahre 1912; die Vierradbremsen, die erstmals 1920 von den Automobilmarken Delage, Hispano Suiza und anderen angewendet wurden; die 1921 von Dusenberg und Chrysler gebauten Oeldruckbremsen; die unabhängige Vorderradfederung, die 1922 erstmals von Lancia serienmässig gebaut wurde und die Flüssigkeitskupplung, die seit 1930 bei den englischen Daimler-Wagen angewendet werden, sich aber erst in neuester Zeit weiter verbreiteten.

Die Einführung der Benzineinspritzung bei Automobilmotoren für Personen- und Lastwagen erscheint aussichtsreich, weil man die sehr umfassenden Erfahrungen aus dem Flug- und Tankbetrieb zu Nutze ziehen kann. Günstig wirken sich ferner die während des Krieges ohne Zweifel wesentlich verbesserten Treibstoffe, Werkstoffe und Motorkonstruktionen aus, weil sie die höheren Literleistungen zu beherrschen gestatten, die das neue Einspritzsystem möglich macht. Wohl das schwierigste konstruktive Problem, das im Zusammenhang mit der Benzineinspritzung noch gelöst werden muss, ist die richtige Regelung der Luft- und Treibstoffzuteilung auf die einzelnen Zylinder bei allen vorkommenden Betriebsverhältnissen.

Literaturverzeichnis

[1] Benz, Carl: Lebensfahrt eines deutschen Erfinders.
[2] Blackwood, Kass and Lewis: Antiknock and mixture distribution problem in multi-cylinder engines. Automotive Industries, 24. Dezember 1938.
[3] Mantell, Louis: Fuel Economy. Automobile Engineer, Januar 1943.
[4] Lichty, Lester C.: Internal Combustion Engines. 1939.
[5] Thiemann, E A.: Einspritzmotoren mit Hochspannungszündung. Motor-Kritik, Nr. 12 bis 15, 1939.
[6] Injection System to handle fuels of all grades at low pressures. Automotive Industries, Nov. 28. 1936.
[7] Weber, F. O., Bern: Benzineinspritzmotoren, SBZ Bd. 115, S. 269* (Juni 1940).
[8] Fisher, Charles H.: Carburation, carburettors and petrol injection. Chapman and Hall Ltd. London 1945.
[9] Wilkinson, Paul H.: Aircraft engines of the world. Wilkinson. New York 1945.
[10] Rolls Royce Ltd.: Preliminary notes for the running and maintenance of Merlin 66-engines. Aug. 1943.
[11] Robert Bosch G. m. b. H.: Einspritzgeräte für Daimler-Benz-Flugmotoren.
[12] Saurer: Werk-Mitteilung.
[13] S. U. Petrol Injection Pump. Automobile Engineer, Dec. 1945.
[14] Fairfax, Ernest: Calling all arms. Hutchinson & Co. Ltd. London 1945.
[15] Fantini, Alberto: Motori a benzina alimentati mediante injezione.
[16] Fedden, Sir Roy: German wartime motor developments. The Motor, London. October 3rd. 1945.
[17] Hablützel, Emil: Benzin-Einspritzmotor an der LA. SBZ Bd. 114 S. 291* (16. Dezember 1939).
[18] Troesch, Max: Brennstoffersparnis durch Neuerungen in Einspritz, systemen. Der Motorlastwagen 1940. (Auszug SBZ Bd. 117, S. 296*).

Geoelektrische Untergrundforschungen DK 550.837

Geoelektrische Sondierungen[1]) bezwecken das Feststellen der in verschiedenen Tiefen vorkommenden Gesteinsschichten, im besondern Grundwasser führender Ablagerungen. Legt man an einen homogenen Untergrund bei I und I*, Bild 1, eine elektrische Spannung, wobei I* weit weg liegt, so bildet sich ein elektrisches Potentialfeld aus, dessen Flächen gleicher Spannung Halbkugeln mit S_1 als Zentrum bilden. Das Potentialgefälle V_I zwischen den Punkten P_1' und P_2' ist gleich, wie das zwischen P_1 und P_2 an der Erdoberfläche, und kann daher dort gemessen werden. Verlegt man die Stromeinführstelle nach II, so zeigen die Messonden P_1 und P_2 die Potentialdifferenz V_{II} zwischen P_1'' und P_2'' an, setzt man sie nach III, so misst man zwischen P_1 und P_2 V_{III}. Die Folge der Messungen, bis zu der die Potentialdifferenz zwischen P_1 und P_2 unverändert bleibt, gibt die Tiefe der ersten homogenen Schicht. Folgen nun andere Schichten mit anderen spezifischen Widerständen, so deformieren sich die entsprechenden Halbkugeln. Der aus den Messungen an der Erdoberfläche sich ergebende «scheinbare» Widerstand ist ein Mischwert der wahren Widerstände der verschiedenen Schichten, der sich für bestimmte Widerstands- und Mächtigkeits-Proportionen theoretisch berechnen lässt. Man kann so die durch Messungen in der Natur aufgenommenen Kurven des scheinbaren Widerstandes in Funktion der Tiefe mit den theoretisch berechneten zur Deckung bringen und so rückwärts auf die wirklichen Widerstände und Mächtigkeiten der beteiligten Schichten schliessen. Die Auswertung der Mehrschichtenprobleme erfordert eine sehr umfangreiche theoretische Dokumentation; für den Dreischichtenfall stehen allein rd. 2400 Kurvenscharen zur Verfügung.

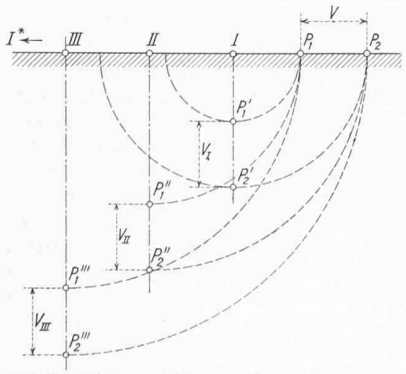


Bild 1. Tiefensondierung durch Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen I* und bzw. II bzw. III und Messen des Potentialgefälles V zwischen den Punkten P_1 und P_2

[1]) Vgl. *O. Münger* in SBZ Bd. 114, S. 154* (1939) und *W. Fisch* in SBZ Bd. 115, S. 237* und 258 (1940) und Bd. 120, S. 164 (1942).

Behält man die Abstände zwischen Stromeinführstelle und Messonden unverändert, so dringt im homogenen Gestein die Sondierung stets gleich tief ein. Bei plötzlichem Gesteinswechsel, wo also, wie z. B. bei einer Verwerfung, zwei Schichten mit verschiedenen Widerständen aneinanderstossen, ergeben sich charakteristische Uebergangsfiguren, aus denen die Lage des Ueberganges genau festgelegt werden kann. Diese Schichtsondierung eignet sich vor allem zur Aufnahme einer allgemeinen Uebersicht des zu untersuchenden Gebietes, auf Grund welcher die Tiefensondierung rationell angeordnet werden kann.

Der sehr verwickelte Aufbau der Talböden im schweizerischen Mittelland veranlasste das Entwickeln neuer Auswertungsmethoden. Heute verfügt man über zwölf verschiedene Operationsmöglichkeiten, die sich wieder auf 13 Arten kombinieren lassen. Ausserdem wurden auf theoretischem Weg Entzerrungsverfahren, wie sie in ähnlicher Weise in der Luftkartographie verwendet werden, ausgearbeitet, so dass nun die Messergebnisse mit grosser Sicherheit ausgewertet werden können.

Geoelektrische Sondierungen werden oft zur Bestimmung der Durchlässigkeit der verschiedenen Schichten für Grundwasser verwendet. Hier spielt die Porosität, d. h. das zwischen den Gesteinskörnern für die Wasserzirkulation verfügbare Volumen im Verhältnis zum Gesamtvolumen die massgebende Rolle. Bei gleicher Korngrösse und rhombischer Kornanordnung, also dichtester Lagerungsweise beträgt sie 26 %. Wird in eine Masse einheitlichen Kornes ein gröberes Korn hineingesetzt, so entstehen in seiner Umgebung grössere