

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115/116 (1940)
Heft: 24

Artikel: Benzineinspritzmotoren
Autor: Weber, F.O.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-51189>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

INHALT: Benzineinspritzmotoren. — Vom Fährdienst über den Aermelkanal. — Die neue Wirtschaft zur Waid in Zürich. — Bauwirtschaft und Städtebau im heutigen Japan. — Mitteilungen: Vom Stand der Arbeiten der internationalen Rheinregulierung Illmündung-Bodensee.

Transport langer Eisenbahnschienen. Einbahnverkehr im Mittelalter. Brennstoff-Sparapparate für Zentralheizungskessel. Fernverkehrstrasse Bern-Lausanne. — Literatur: Krupp-Taschenbuch für den Lokomotiv-Ingenieur. Elektrizität, Technisches Zeitbild aus der LA 1939.

Band 115

Der S.I.A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

Nr. 24**Benzineinspritzmotoren**

Von Dipl. Ing. F. O. WEBER, Bern

Bis vor wenigen Jahren unterschied man bei den Verbrennungsmotoren zwei Gattungen, die «Otto»- und die Dieselmotoren. Dort wird den Zylindern ein fertig zubereitetes Verbrennungsgemisch zugeführt, das sich nach der Verdichtung an einem elektrischen Hochspannungsfunk entzündet. Als Brennstoff kommen hierfür Gase und flüssige Leichtkraftstoffe wie Benzin, Benzol u. dgl. in Frage. Die Kolben der Dieselmotoren saugen hingegen reine Luft an, in die gegen Ende des Kompressionshubes fein zerstäubter Treibstoff eingespritzt wird, der sich entweder direkt dank der Verdichtungswärme, oder aber beim Auftreffen auf besonders ausgebildete heiße Teile in einer mit dem Verbrennungsraum kommunizierenden Kammer entzündet. Sie verdanken ihre Beliebtheit vor allem dem Umstand, dass sie einerseits mit billigeren Brennstoffen auskommen, andererseits aus thermodynamischen Gründen (hohes Temperaturgefälle) im Verbrauch recht sparsam sind, wodurch sich bei Betrieb mit stark wechselnder Belastung eine Ersparnis an Treibstoffkosten von 50% oder mehr der Ausgaben für Benzin ergeben kann.

Seit einigen Jahren sind nun in allen Ländern Versuche an Benzimotoren im Gange und verschiedenorts für Viertaktmotoren bereits zu erfolgreichem Abschluss gelangt, bei denen die Gemischbildung aus Kraftstoff und Luft erst im Zylinder selbst anstatt schon im Vergaser vollzogen, zur Zündung aber nach wie vor ein elektrischer Hochspannungsfunk benutzt wird. Die Einführung des Brennstoffs geschieht wie bei Dieselmotoren durch eine Zerstäuberdüse, jedoch schon im Verlauf des Saughubes und daher bei wesentlich geringerem Druck. Auch müssen Düsen und Einspritzpumpe etwas anders beschaffen sein als bei Dieselmotoren, deren Treibstoff im Gegensatz zu Benzin eine bescheidene Schmierwirkung besitzt, dank welcher Nadelventile und Pumpenstempel, selbst bei den durch den hohen Druck bedingten engen Passungen nicht anfressen.

Der Gründe, die zur Benzineinspritzung veranlassten, gibt es recht viele. Manche davon betreffen die Flugmotoren im besondern, andere wiederum sprechen für ihre allgemeine Einführung anstelle des Vergasers. Nach A. E. Thiemann¹⁾ lassen sich die Vorzüge der Benzineinspritzung mit Hochspannungszündung auszugsweise wie folgt zusammenfassen:

1. Bessere Gemischverteilung auf die einzelnen Zylinder als bei Vergasermotoren, also gleichmässige Leistungsverteilung und damit eine bessere Durchschnittsleistung. Gleichzeitig vermindert sich die Klopfgefahr.

2. Möglichkeit der Brennraumspülung ohne Brennstoffverlust mit reiner Luft aus einem Gebläse bei Ventilüberschneidungszeiten von gegen 150%. Dadurch Sauerstoffanreicherung und bessere Kühlung besonders der Auspuffventile.

3. Verwendbarkeit höhersiedender Brennstoffe, da keine Kondensationen im Saugrohr auftreten.

4. Wegfall der Vergaserbrand-Gefahr.

5. Vereinfachung der Regulierung von Flugmotoren mit Einstellbarkeit für Anflug, Reiseflug, Höhenflug u. a. m.

6. Kein Vereisen des Vergasers.

7. Steigerung der Leistungsausbeute gegenüber Vergaserbetrieb um 6 bis 10%, allein wegen Wegfall der Drosselung und Gemischbildung beim Ansaugen.

Gewiss sieben gewichtige Argumente! Betrachten wir sie noch ein wenig im Lichte bisher bekanntgewordener Versuchsergebnisse und Erfahrungstatsachen.

Zu Punkt 1: Bei Mehrzylinder-Vergasermotoren lässt sich eine einigermaßen gleichmässige Verteilung des Brennstoffes auf die Zylinder nur schwer erreichen. Auch wechselt das Gemisch seine Zusammensetzung von Zylinder zu Zylinder. So fanden amerikanische Forscher²⁾ an einem Reihen-Achtzylinder-Automotor, dessen Auspuffgase mit dem Orsat-Apparat für jeden Zylinder gesondert analysiert wurden, Unterschiede in der Gemischzusammensetzung von 7,1% bei Verwendung von Normalbenzin, 4,7% für Flugbenzin und 0,9% bei Benutzung von Butangas als Treibstoff. Je geringer also die Flüchtigkeit des Brenn-

stoff ist, desto grösser fallen die Unterschiede aus. Andere amerikanische Wissenschaftler stellten an einem Sechszylinder-Wagenmotor Leistungsabweichungen der einzelnen Zylinder von 30% fest, woran sowohl die Unterschiede im Gewicht der Ladung pro Zylinder und in der Gemischzusammensetzung, als auch die Abweichungen der Zündmomente um 3 bis 8° beteiligt sind.

Einzelne Zylinder können daher bei Einstellung des Vergasers auf sparsamen Verbrauch ein allzu mageres Gemisch erhalten, was eine Ueberhitzung, Selbstzündung und Klopfen mit all seinen bei hochbeanspruchten Motoren besonders ernsten Folgen, wie Abreissen der Zylinderflansche, mit sich bringt. Man hilft sich im allgemeinen durch feste Einstellung des Vergasers, mit der Folge einer Erhöhung des Brennstoffverbrauchs über das bei guter Gemischverteilung notwendige Mass, was nichts anderes bedeutet als eine Vergeudung von Brennstoff.

Dass bei gleichmässiger Gemischverteilung mögliche, hohe Kompressionsverhältnisse lässt sich unter solchen Umständen nicht erreichen (Abb. 1). Wünschenswert wäre demgegenüber eine derart genaue Verteilung des Gemisches, dass die Unterschiede im Gewicht der Zylinderladungen 4% nicht übersteigen. Dieses Ziel mit all seinen günstigen Folgen lässt sich mit Hilfe des Benzineinspritzverfahrens besonders leicht verwirklichen. Folgende Zahlen, die das amerikanische Militär-Departement veranlassten, Mitte 1935 zunächst eine Versuchsserie von Flugmotoren mit Einspritzvorrichtung zu bestellen und später sämtliche einmotorigen Kampfflugzeuge mit Benzineinspritzung auszurüsten, legen hierfür beredtes Zeugnis ab:

Motormuster	Leistung: mit Vergaser bei Einspritzg.	Drehzahl
Pratt & Whitney, luftgek. 9-Zyl.-		
Sternmotor, Typ Hornet	730 PS	825 PS
Pratt & Whitney-Motor,	450 PS	490 PS ³⁾
Typ Wasp	710 - 800 PS ⁴⁾	2200

Der Verbrauch belief sich bei Benzineinspritzung auf nur 200 g/PS_h, bei Spritbetrieb auf 410 g/PS_h. Hervorzuheben ist ferner, dass die Temperatur in der Mitte des Zylinderkopfes sich beim Benzineinspritzbetrieb auf 246°C, bei Spriteinspritzung und einer Leistung von 710 PS dank der Kühlwirkung des Alkohols auf nur 188°C belief.

Weitere, in Europa durchgeführte Versuche erlauben nachstehende Gegenüberstellung:

Motorart	Brennstoff in g/PS _h	Kompr. Verh.	Max. Verbr.- druck	Oktanzahl d. Benzin	Leistg. in PS
Flugmotor					
mit Vergaser	240	1:6,0	43 at	87	1000
mit Vergaser	220	1:7,0	66 at	100	1160
mit Einspritzg.	200	1:6,5	57 at	87	1400

Aus alldem geht die Ueberlegenheit des Einspritzmotors sowohl bezüglich der Leistungsausbeute als auch hinsichtlich des Brennstoffverbrauchs eindeutig hervor. Es ist deshalb nicht zu verwundern, dass neben der amerikanischen Militärvatik die deutsche Luftwaffe in grösstem Maßstab mit Benzineinspritzmotoren ausgerüstet ist, die beispielsweise serienmäßig als Antriebaggregate in die Bomber, Modell Heinkel He III K, sowie in die Kampfflugzeuge vom Typ Messerschmidt 110 eingebaut sind.

Punkt 2: Die Möglichkeit einer Innenkühlung durch die vom Gebläse gelieferte Spülluft erscheint für Viertaktmotoren genau so verheissungsvoll wie für die noch im Versuchsstadium begriffenen Zweitakter mit Benzineinspritzung. Es lassen sich dadurch thermisch hochbeanspruchte Teile wirksam kühlen und daher

¹⁾ Mit Benzin der Oktanzahl 87. — ²⁾ Mit 80% Spiritus.

³⁾ Mit Benzin der Oktanzahl 87. — ⁴⁾ Mit 80% Spiritus.

¹⁾ «Motor-Kritik» Nr. 12, 1939, S. 467/8.

²⁾ Antiknock and mixture distribution problem in multi-cylinder engines. Blackwood, Kass and Lewis. Automotive Industries, 24. Dez. 1938.

³⁾ Mit Benzin der Oktanzahl 87. — ⁴⁾ Mit 80% Spiritus.

¹⁾ «Motor-Kritik» Nr. 12, 1939, S. 467/8.

²⁾ Antiknock and mixture distribution problem in multi-cylinder engines. Blackwood, Kass and Lewis. Automotive Industries, 24. Dez. 1938.

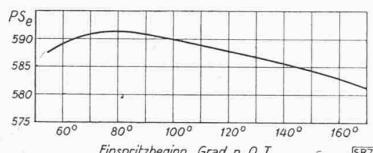
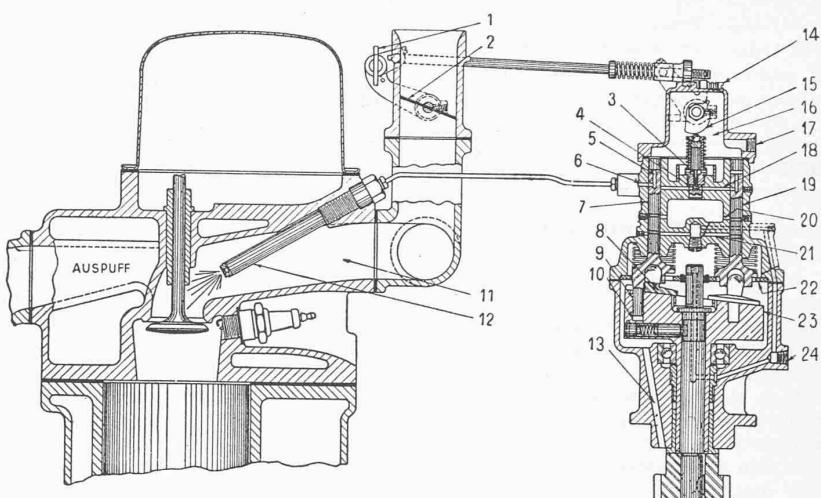


Abb. 2. Einfluss des Einspritzbeginns auf die Motoreistung eines Pratt-Whitney Flugmotors, Typ R-1340-15 mit Marvel Benzineinspritzvorrichtung. Drehzahl 2000 U/min, Lufttemperatur 16°C, Luftdruck 730 mm Hg, relat. Luftfeuchtigkeit 56%

Abb. 3 (rechts).

Benzineinspritzvorrichtung von Marvel-Schebler
1 Anschlag zur Einstellung der Vorrichtung auf verschiedene Brennstoffe, 2 Drosselklappe, 3 Benzindosiernadel, 4 Dosierdüse, 5 Brennstoffkanal im Stempel, 6 Benzinablass zur Sprühdüse, 7 Pumpenstempel in der obersten Lage, 8 Gleitschuh, 9 Kurbelartiges Ende des Pumpenstempels, 10 Exzentrische Führungsrinne, 11 Einlasskanal des Motors, 12 Sprühdüse, 13 Oelrücklauf zum Motor, 14 Leerlauf-Einstellung, 15 Nocken (wird zur Regulierung des Leerlaufs verstellt), 16 mit Brennstoff gefüllter Gehäuseteil, 17 Brennstoff-Einlass, 18 Brennstoff-Eintritt in die Pumpe, 19 Pumpenstempel in der untersten Lage, 20 Brennstoff-Ablaufkanal, 21 Schmierölleitung zum Stempel, 22 Stempel-Anschlagplatte (begrenzt den Ausschlag nach unten), 23 Drehende Nockenplatte, 24 Schmierölteinlass



ohne Klopfgefahr recht beträchtliche mittlere Drücke herausholen. So ergaben Messungen am amerikanischen Westinghouse-Dieselmotor⁵⁾, dass sich die Leistung um rd. 50% steigern lässt, bei einer Temperaturerhöhung am oberen Kolbenrand von nur 22°C, wenn man mit einem SpülLuft-Ueberschuss von 20% arbeitet. Hierzu hat sich dort eine Ventilüberschneidung von etwa 150° als notwendig erwiesen. Nach anderen Quellen aus U.S.A.⁶⁾ liess sich bei einem Versuchsmotor mit Benzineinspritzung ins Saugrohr, einem Kompressionsverhältnis von 5,5 und einer Ventilüberschneidung von 112° bei 7/100 at Spüldruck die Leistung ohne Erhöhung der Klopfgefahr um 28%, bei einem Druck im Einlassstutzen von 0,2 at sogar um 50% steigern.

Zu Punkt 3: Hierüber geben die bereits zu Punkt 1 erwähnten Versuche von Blackwood, Kass und Lewis einige Anhaltspunkte, die zahlenmäßig zeigen, wie stark sich die Kondensation im Saugrohr bei Verwendung normalen Benzins auf die Gemischverteilung auswirkt. Für Fliegerbenzin liegen die Verhältnisse schon günstiger. Es erscheint deshalb verlockend, mit der Einspritzung des Benzins direkt in die Zylinder auch den Vorteil billigerer Brennstoffe zu vereinigen. In England schreibt man daher auch die Bevorzugung des neuen Motortyps durch die deutsche Luftwaffe nicht zuletzt dieser geringeren Brennstoffempfindlichkeit zu (was allerdings ein Trugschluss sein dürfte!). Als deshalb im letzten Jahr in den Lammermuir Hills beim Firth of Forth ein Heinkel-Bomber mit Benzineinspritzmotoren notlanden musste, wurden, abgesehen von der Ueberführung der Motoren in die Rolls-Royce-Werke, auch Benzin-Proben zur Untersuchung dem Tank entnommen. Die Analyse zeigte angeblich, dass der Brennstoff pro Liter eine Beimischung von etwa 1 g Tetraäthylblei besass und eine Oktanzahl von 87 aufwies; weitere Angaben waren bisher nicht erhältlich.

Zu den Punkten 4, 5, 6 und 7 ist in diesem Zusammenhang nichts hinzuzufügen.

*

Die erfolgreiche Anwendung des Benzineinspritzverfahrens verlangte zunächst die Klärung einiger praktischer Fragen, über die heute auf Grund zahlreicher Veröffentlichungen rückblickend berichtet werden kann. Es galt vor allem sich Klarheit über folgende Probleme zu verschaffen:

A) In welchem Punkte des Arbeitsprozesses und mit welchem Druck das Benzin eingespritzt werden soll,

B) Wie Pumpe und Düse beschaffen sein müssen, um ein Anfressen von Pumpenstempel und Düsenadel zu vermeiden.

A) *Einspritzmoment und Einspritzdruck*

Offenbar hat das Einbringen des Brennstoffs bei Viertaktmotoren entweder während des Einlasshubes oder im Verlauf des Kompressionshubes zu erfolgen. Bei den heute ausgeführten Motoren spritzt man Benzin und andere Leichtöle durchwegs im Saughub, Mittelöle dagegen zwecks Vermeidung einer Schmierölverdünnung im Verdichtungshub ungefähr 40 bis 60° vor dem oberen Totpunkt, also früher ein als bei Dieselmotoren (Zündpunkt etwa 20° vor dem Totpunkt). Bei Benzineinspritzung besteht deshalb grundsätzlich die Möglichkeit, die Düse im Saug-

rohr oder im Zylinder selbst anzubringen. Außerdem kommt man mit sehr bescheidenen Einspritzdrücken aus, weil dank der langen Vorbereitungszeit zwischen Einspritzung und Zündung, sowie der Durchwirbelung und Erwärmung an den erhitzten Motorteilen auch bei nicht sehr feiner Zerstäubung ein gleichmäßiges Gemisch erzielt wird. Bei der viel kürzeren Vorbereitungszeit in Mittelölmotoren mit Fremdzündung muss man dagegen mit Einspritzdrücken von 50 bis 70 at arbeiten, um eine genügend feine Zerstäubung zu erreichen.

Erfolgt die Einspritzung des Benzins ins Ende der Einlass-Sammelleitung, so liegen die Verhältnisse ganz ähnlich wie bei Vergasermotoren, nur dass die Brennstoffnebel-Tröpfchen kleiner ausfallen als bei diesen. Die vom Verbrennungsgemisch erfüllte Zuleitung beschwört bei Flammen-Rückschlägen auch genau die gleiche Brandgefahr hervor. Außerdem ist die Möglichkeit einer Eisbildung nicht von der Hand zu weisen, da die Verdunstungskälte sich im Einlass-Sammelrohr geltend macht. Ein Spülen des Verbrennungsraumes mit Luft zur verstärkten Innenkühlung bleibt ausgeschlossen, weil dies einen Brennstoffverlust zur Folge hätte. Dafür kann der Brennstoff mit einer recht einfachen Einrichtung in kontinuierlichem Strahl eingespritzt werden, was technisch sehr leicht zu verwirklichen ist. Hierin dürfte wohl der Grund für die Anwendung dieses Verfahrens bei den ersten Versuchsmotoren des NACA (U.S.A.) im Jahre 1925 liegen, wo das Benzin in das Schauferlad des Gebläses eingespritzt wurde. Auch Bristol wandte versuchsweise eine Zerstäubung des Brennstoffs entgegen dem Luftstrom in die Saugleitung an. Uebrigens besaßen schon einige der allerersten Flugmotoren eine Benzineinspritzvorrichtung mit Zahnraddpumpe, wobei die Zerstäubung in den Anfang der Saugleitung erfolgte. Beispiele hierfür sind die Wright-Flugmotoren vom Jahr 1903, sowie der Antoinette 50 PS V 8-Motor von 1908.

Nachstehende, in U.S.A. ermittelte Versuchswerte geben Aufschluss über den Leistungsgewinn bei Einspritzung des Benzins in das Ende des Einlass-Sammelstutzens gegenüber Vergaserbetrieb:

	Mittl. Druck P_{me} in at	Brennstoffverbrauch g/PS _e h	Volum. Wirkgs.-grad %
Vergaserbetrieb	7,35	270	91
Einspritzung gegen Luft	7,83	253	96
ins Saugrohr mit der Luft	7,85	235	97

Um die vorher erwähnten Nachteile dieser Einspritzmethode zu vermeiden, beschritten später eine Anzahl von Firmen, wie Marvel-Schebler in U.S.A., Caproni-Fuscaldo in Italien und Lorraine in Frankreich, den Weg einer Einspritzung in die Einlassstutzen beim Einlassventil (Abb. 3). Der Zerstäubungsvorgang kann sich hierbei über einen grösseren oder kleineren Teil des Einlasshubes erstrecken und so gesteuert werden, dass bei der Durchspülung der Zylinder während der Ventilüberschneidung kein Benzin verloren geht. Beim System Caproni-Fuscaldo sitzt übrigens die Einspritzdüse nur an obengesteuerten Motoren im Saugstutzen. Bei Seitenventilen dagegen wird das Benzin über die Ventile hinweg direkt in den Verbrennungsraum gespritzt.

Auch das in Deutschland benützte Einspritzverfahren (Junkers Jumo Flugmotoren), das beim heutigen Stand der Entwick-

⁵⁾ SAE-Journal, Mai 1938.

⁶⁾ W. Schey im SAE-Journal, Juni 1933.

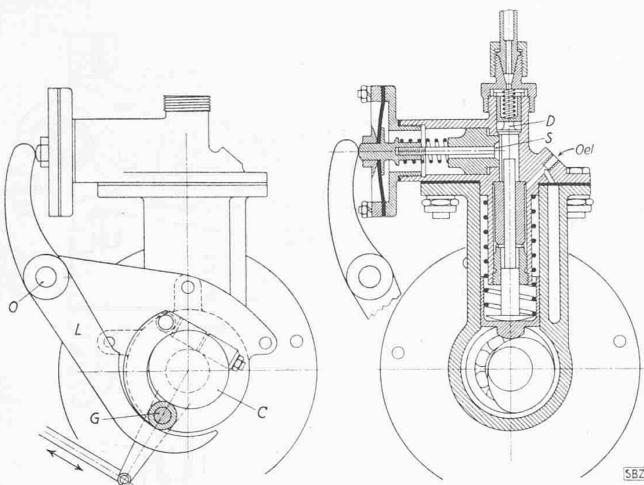


Abb. 4. Benzineinspritzpumpe von Lorraine. Rechts Schnitt, Links Mengen-Regulier-Vorrichtung. D Druckventil, S Saugventil, C Einspritz-Mengenreguliernocken, G Verstellrolle am Hebel L, O Drehpunkt des Hebels L

lung besonders aussichtsreich erscheint, arbeitet mit direkter Einspritzung des Benzin in den Zylinder unter einem Druck von etwa 5,2 at⁷⁾. Die Einstäubung beginnt bei allen Belastungs-Verhältnissen im gleichen Punkt des Einlasshubes und endet je nach der Einspritzmenge etwas früher oder später. Nach englischen Mitteilungen scheint eine gewisse Verschiebung des Einspritzbeginns auf das Ergebnis keinen grossen Einfluss auszuüben (siehe Abb. 2).

B) Konstruktion der Benzineinspritzvorrichtungen

Dem Umstand, dass das Benzin im Gegensatz zum Dieselöl keinerlei Schmierwirkung hat, trägt man dadurch Rechnung, dass man bei Benzinbetrieb eine Niederdruck-Einspritzung im Verlauf des Saughubes statt der Hochdruck-Einspritzung gegen Ende des Kompressionshubes von Dieselmotoren wählt. Man weicht also der Schwierigkeit teilweise aus, büssst aber damit einen Vorteil ein, den die Einspritzung bieten könnte, denn man benötigt zur Regelung der Leistung neben der Einspritzmengen-Verstellung ebenso wie bei Vergasermotoren eine Luftdrossel, was den Wirkungsgrad vor allem bei geringer Belastung herabsetzt. Bei Flugmotoren, die fast dauernd mit voller Belastung laufen, hat dies nicht viel zu bedeuten. Würde man jedoch das Einspritzverfahren auch auf die mit stark wechselnder Belastung laufenden Automotoren anwenden, so wäre eine rein qualitative Leistungsregelung ähnlich wie bei Dieselmotoren erwünscht. Bei den mit mittleren Einspritzdrücken von 50 bis 70 at und einem Einspritzbeginn von 40 bis 60° vor dem oberen Totpunkt des Verdichtungshubs arbeitenden Mittelölmotoren mit Fremdzündung lässt sich dieses Ziel nach Angaben von A. E. Thiemann⁸⁾ durch richtige Brennraum-Unterteilung erreichen.

Wohl hat es nicht an Versuchen gefehlt, bei Benzineinspritzung ähnliche Wege zu beschreiten. Man hoffte durch eine Schichtung der Ladung trotz Einspritzung während des Saug-

⁷⁾ Einspritzdruck nach unkontrollierten, englischen Angaben. Von gut informierter Seite wird dieser Zahlenwert angezweifelt und bemerkt, es dürfte sich eher um 50 at handeln. Eine Nachprüfung ist aus militärischen Gründen nicht möglich.

⁸⁾ »Motor-Kritik«, Nr. 12, 1939.

hubes ebenfalls zu einer Art qualitativer Regelung zu gelangen, was sich jedoch bisher als aussichtslos erwiesen hat. Von einer Mitteldruckeinspritzung im Kompressionshub aber, die nach Thiemann zum Ziele führen könnte, wurde vorläufig für Benzin kein Gebrauch gemacht.

Das durch Pumpenstempel und Düsennadel gebotene Schmierproblem lässt sich praktisch ohne weiteres lösen, oder man kann ihm zum mindesten aus dem Wege gehen. Eine eigentliche Schmierung lässt sich beispielsweise dadurch erzielen, dass man im Stempel oder Pumpenzylinder eine Ringnut vorsieht, die bei einer bestimmten Stempelstellung durch eine Bohrung Schmieröl zugeführt erhält, das sich im Betrieb durch den Pumpenzylinder langsam nach unten herausschafft und entweder an dessen unterem Ende abtropft oder aber sich in einer tiefer gelegenen Ringnut sammelt und von dort abfließt. Das Drucköl dichtet den Stempel wirksam gegen das Benzin ab. — Als zweites Mittel zur Verhütung des Anfressens nennen wir die Anwendung grösserer Einbauspiele, die durch die geringen Drücke sowie allenfalls durch die besondere Gestaltung der betreffenden Organe ermöglicht werden (vergl. «SBZ», Bd. 114, S. 292*).

Von den verschiedenen Konstruktionen der Einspritzorgane seien nachfolgend einige der wichtigsten näher betrachtet. Die Einspritzpumpe zum früher erwähnten Verfahren von *Marvel-Schebler*⁹⁾ ist in Abb. 3 im Schnitt dargestellt. Eine senkrechte Welle treibt darin eine Taumelscheibe (23) an, die ihrerseits die im Oberteil des Gehäuses kreisförmig angeordneten, vertikalen Pumpenstempel (19) betätigt. Jeder Pumpenstempel hat eine im Saugkanal des zugehörigen Motorzylinders angebrachte Zapfen-Düse, deren Mündung gegen das Einlassventil gerichtet ist, mit Benzin zu versorgen. Die Einspritzung beginnt erst, wenn es sich bis zu einem gewissen Grad geöffnet hat und hört auf, bevor es ganz geschlossen ist, sodass kein Brennstoff in der Saugleitung zurückbleibt. Gleichzeitig mit der senkrechten Bewegung dreht sich der Stempel um seine Axe hin und her, weil eine Kurbel (9) an seinem untern Ende in einer exzentrischen Nockenrinne der Taumelscheibe geführt ist. Dadurch wird eine horizontale Bohrung nahe dem oberen Stempelende, die durch eine senkrechte Bohrung (5) mit dem Druckraum über dem Stempel in Verbindung steht, abwechselnd mit der Saug- (18) bzw. Ausstossöffnung (6) in Uebereinstimmung gebracht. Die Mengenregulierung geschieht durch das verstellbare Saugventil (16), zu dessen Betätigung ein mit dem Drosselgestänge verbundener Nocken (15) vorgesehen ist. Durch die Bohrungen (21) wird den Pumpenzylindern Drucköl zugeführt, das zur Schmierung und Abdichtung dient. Das Benzin, das sich beim Druckhub nach unten durcharbeitet, fliesst durch die Bohrung (20) in den Unterteil des Gehäuses, von wo der Kanal (13) die Ableitung besorgt.

Man vergleiche die nachfolgend gegebenen Versuchsergebnisse eines 7-zylindrigen, amerikanischen Flugmotors, Typ Continental W 670, der wahlweise mit Vergaser oder Marvel-Benzin-Einspritzvorrichtung geliefert wird. Seine Konstruktionsdaten lauten: Bohrung 130 mm, Hub 117,5 mm, Hubraum 11 l.

	Bremsleistung	U/min	Kompr.-Verh.
Mit Vergaser	225 PS	2175	5,4 : 1
"	240 PS	2200	6,1 : 1
Mit Marvel-Einspritzung	230 PS	2125	5,4 : 1
"	250 PS	2200	6,1 : 1

Abbildung 4 bezieht sich auf die Einspritz-Pumpe der französischen Flugmotoren-Fabrik Lorraine. Sämtliche Pumpen-Elemente (Abb. 4 zeigt nur eines davon) gruppieren sich bei mehr-

⁹⁾ Hersteller dieses Systems: Borg Warner Corp., Marvel-Schebler Carburator Division.

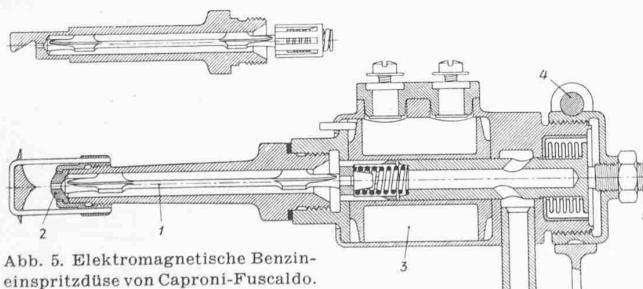


Abb. 5. Elektromagnetische Benzineinspritzdüse von Caproni-Fuscaldo.
Unten: Düse für obengesteuerte Motoren zum Einbau in den Einlass-Stutzen. 1 Düsenplatte, 2 Düsenplatte, 3 Magnetspule, 4 Mengen-Verstellspindel, 5 Individuelle Mengenregulierung jedes Zylinders durch Regulierung der Hubhöhe der Nadel.
Oben: Düse zum Einbau in Motoren mit Seitensteuerung

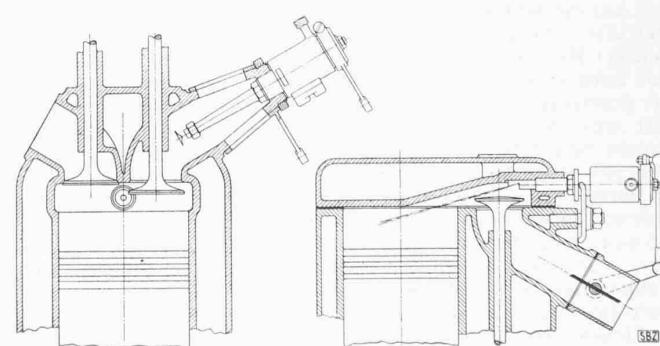


Abb. 6. Die Anordnung der elektromagnetischen Einspritzdüse von Caproni
a) Einbau bei obengesteuertem Motor. b) Einbau bei Seitenventilen

zylindrischen Motoren sternartig um einen einzigen Nocken. Auch hier wird die Einspritzmenge durch das Saugventil (S) reguliert, das sich je nach der Stellung der Regelvorrichtung früher oder später öffnet, wodurch der Pumpen-Druckraum entlastet und das Benzin in die Saugleitung zurückgeführt wird, anstatt in die geschlossene Mehrloch-Einspritzdüse zu gelangen. Die Schmierung geschieht durch Drucköl, das einen ringförmigen Hohlraum rund um das untere Stempelende ausfüllt. Die Mengen-Reguliervorrichtung besteht aus einem zweiarmigen Hebel, der mittels einer Rolle von einem, auf der Pumpenwelle sitzenden, zweiten Nocken betätigt wird. Dank der Lagerung dieser Rolle an einem um die Axe der Pumpenwelle schwenkbaren Hebel lässt sich deren Stellung im oder gegen den Drehsinn des Nockens verstehen, um den gewünschten Regeleffekt zu erhalten. Dies geschieht automatisch durch eine nicht eingezeichnete Barometerdose, die unter dem Einfluss des Druckes in der Saugleitung steht.

Abweichend von dem beschriebenen, mechanischen Einspritz-System arbeitet das Verfahren von *Caproni-Fuscaldo* auf elektromagnetischem Weg. Eine rotierende Pumpe setzt den Brennstoff in den Einspritzleitungen unter Druck; durch entsprechende Stromimpulse werden die Düsenadeln periodisch von ihren Sitzen gehoben, um solange Brennstoff austreten zu lassen, als der Strom durch die eingebaute Magnetspule fließt (Abb. 5). Die Mengen-Regulierung geschieht durch Beeinflussung des Druckes in der Einspritzleitung, der von der Pumpendrehzahl und damit der Umlaufzahl des Motors, bei Flugmotoren ausserdem auch von der Stellung eines automatischen Höhenregulierventsils abhängt. Mit diesem Verfahren soll es möglich sein, pro Düse sekundlich 100 Einspritzungen zu erhalten, was bei Vierzylindermotoren einer Drehzahl von 12000 U/min, bei Zweitaktern einer solchen von 6000 U/min entspricht. Die Einspritzdauer beläuft sich auf nur $\frac{1}{1000}$ s. Entweder wird der Brennstoffstrahl auf das Einlassventil (Einbau bei obengesteuerten Motoren in den Einlassstutzen) oder gegen das Innere des Verbrennungsraums (Einbau bei Seitenventilen direkt in den Zylinderkopf) gerichtet (Abb. 6a und 6b). Ein vom Motor getriebener Unterbrecher nebst Verteiler, wie man sie in ähnlicher Form vom Zündsystem her kennt, besorgt die Ein- und Abschaltung des Stroms durch die Magnetspulen der Düsen. Stromquelle ist die Batterie.

In Italien wurde das System u. a. an einem einzylindrischen *Guzzi* Rennmotorrad von 250 cm³ Hubraum erprobt, obwohl natürlich in diesem Fall keine Gemischverteilungs-Schwierigkeiten vorlagen. Vielmehr wird seine Anwendung damit begründet, dass sich dadurch die Gefahr von Flammenrückschlägen beseitigen lässt. Von Vorteil ist ferner, dass der Roots-Kompressor nur noch reine Luft zu fördern hat. Trotz des Wegfalls von Gemischverlusten während der Ventilüberschneidungszeit soll allerdings der Verbrauch unverändert geblieben sein¹⁰⁾.

Weitere Versuche mit einem Einzylinder-Benzineinspritz-Motor wurden bei *Isotta-Fraschini* vorgenommen. Dabei ergab sich gegenüber Vergaserbetrieb eine Verminderung des Brennstoffverbrauchs um 20%. Anschliessend brachte man den gleichen Versuchsmotor von 2,7 l Hubraum auf ein Verdichtungsverhältnis von 1:9,3 und betrieb ihn mit Alkohol, wobei sich die Leistung um 20% steigern liess. Die Startfähigkeit erlitt auch in kaltem Zustand keinerlei Einbussen. Daraufhin baute die Firma einen 12-Zylinder-Flugmotor auf Benzineinspritzung System *Caproni-Fuscaldo* um, worüber allerdings aus begreiflichen Gründen nähere Angaben fehlen.

Ein ganz ähnliches, elektromagnetisches Einspritzverfahren befindet sich zur Zeit bei der amerikanischen *Atlas Imperial Diesel Engine Co.* in Oakland (Calif.) im Entwicklungsstadium¹¹⁾.

Auf die sehr erfolgreiche, deutsche Lösung endlich beziehen sich Abb. 7 bis 12. Es handelt sich um einen 12-Zylinder V-Motor von 35 l Hubraum mit hängenden Zylindern, der bei 2300 U/min mit Benzin der Oktanzahl 87 in 4200 m Höhe 1050 PS abgibt, die Startleistung beläuft sich auf 1200 PS. Die Verbrennungsluft wird der Einlass-Sammelleitung von einem hinten angebauten und daher hier nicht sichtbaren Zentrifugalgebläse mit zwei Antriebstufern zugeführt. Die Einspritzpumpe (siehe Abb. 7) ist unten zwischen den um 60° gegeneinander geneigten Zylinder-Blöcken angeordnet und steht durch kurze Druckleitungen von 1,5 mm Lichtweite mit den offenen Düsen in Verbindung, die das Benzin direkt in die Verbrennungsräume einstäuben. Pro Zylinder besitzt der Motor je zwei Einlass- und ein grosses Auspuffventil. Jene befinden sich ebenso wie die Einspritzdüse auf der Innenseite des Motors (Anordnung siehe Abb. 8). Jeder Zylinder verfügt über vier gleichmässig auf dem Umfang verteilte

¹⁰⁾ Auto-Moto-Avio, 30. Okt. 1937.

¹¹⁾ «Automotive Industries», 22. April 1939.

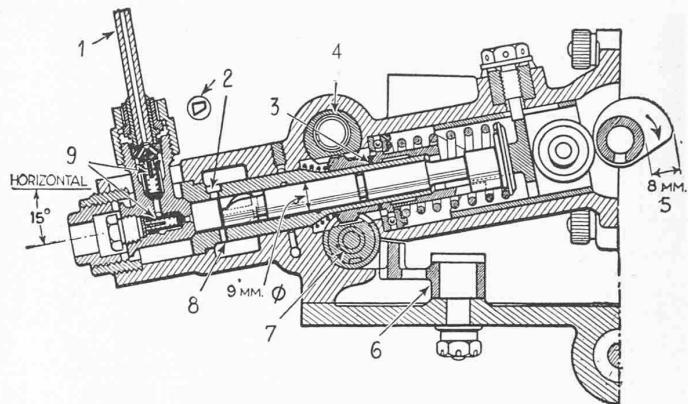


Abb. 10. Benzineinspritzpumpe am Junkers-Flugmotor, Typ 211 A
1 Druckleitung, 2 Rückströmöffnung, 3 hülsenartiges Zahnräder zum Verdrehen des Stempels, 4 federbelastetes Zahntangentialstück, 5 Pumpennocken, 6 durch Gemischregulator betätigtes Zahnssegment, 7 Zahntangente, 8 Saugöffnung, 9 Druckventile

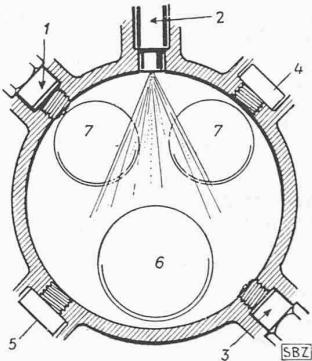


Abb. 8 (rechts). Anordnung von Ventilen und Einspritzdüse im Junkers Flugmotor,
1, 3, 4, 5 Kerzengewinde, 2 Einspritzventil,
6 Auslassventil, 7 Einlassventile

Kerzengewinde, doch waren bei den unlängst in England untersuchten Motoren nur in je zwei davon tatsächlich Zündkerzen eingeschraubt.

Ein Querschnitt durch Düse und Einspritzpumpe ist in Abbildung 9 und 10 zu sehen. Um scharfe Biegungen in der Druckleitung zu vermeiden und die Montage zu erleichtern, hat man diese rechtwinklig zu den Axen der Pumpe und der durch grosse Einfachheit der Konstruktion gekennzeichneten Düse angeschlossen. Da keine Düsenadel vorhanden ist, können an dieser Stelle auch keine Schmierschwierigkeiten auftreten. Drei Kanäle führen mit leichtem Drall zur Düsenbohrung von 1,1 mm Ø.

Die Einspritzpumpe zeigt im wesentlichen ähnliche Baumerkmale wie bei Dieselmotoren. Die beiden sechsstelligen Pumpenblöcke bilden miteinander einen nach unten geöffneten Winkel von 150°, sodass alle zwölf Stempel von den sechs Nocken (5) der Pumpenwelle betätigt werden können. Zur Regulierung der Einspritzmenge lassen sich die mit unveränderlichem Hub arbeitenden Stempel durch eine darunter angebrachte, im Schnitt kreisförmige Zahntangente (7) verdrehen. Diese Drehbewegung wird von dem hülsenartigen Zahnräder (3), das mit der Zahntangente im Eingriff steht, auf den Stempel übertragen. — Gegenüber der Haupt-Zahntangente greift ein federbelastetes, kurzes Zahntangentialstück (4) in das Zahnräder ein, was bewirkt, dass der Stempel spielfrei und exakt auf die leiseste Bewegung der Hauptzahntangente reagiert. Der Druckraum der Pumpe über dem Stempel besitzt drei Öffnungen. Durch die Drucköffnung

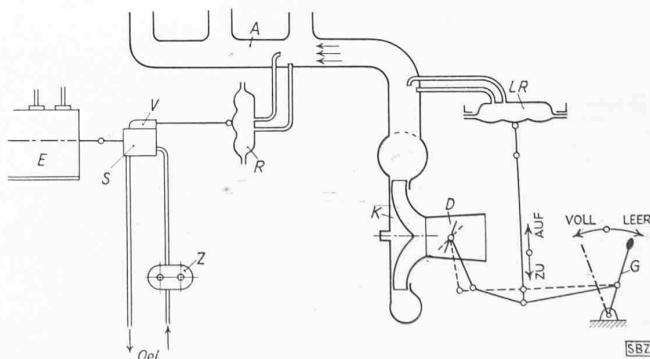


Abb. 11. Schema der Leistungsregulierung eines Motors mit Benzineinspritzung. A Druckstutzen des Motors, D Drosselklappe, G Gashebel, K Kompressor, LR Ladedruckregler, E Einspritzpumpe, R Reglerdose, S Öl-Servomotor, V Verschieberventil des Servomotors, Z Zahnrädpumpe des Servomotors

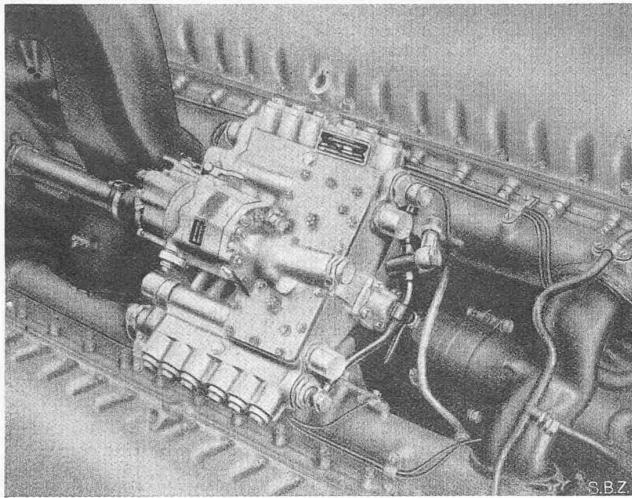
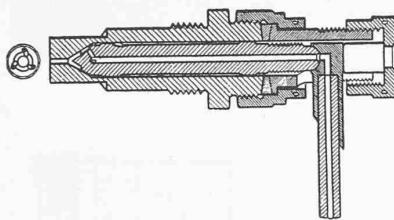


Abb. 7. Benzin-Einspritzpumpe am Junkers Flugmotor, Ansicht von unten

Abb. 9 (links).
Junkers Flugmotor,
Schnitt durch die offene
Einspritzdüse

gelangt das Benzin beim Förderhub nach Durchströmung von zwei Rückschlagventilen (9) in die Druckleitung (1) und von dort zur Düse. Die Förderung hört auf, sobald die schraubenartige Kante der Einfräzung am oberen Stempelende die Rückströmöffnung (2) freilegt und damit eine Verbindung zwischen Pumpendruckraum und Rücklaufleitung zum Brennstoftank herstellt. Die Saug-Oeffnung auf der Unterseite endlich erlaubt der Pumpe frischen Brennstoff anzusaugen, sobald der Stempel wieder in die Ausgangstellung (siehe Abb. 10) zurückkehrt.

Über das Prinzip der Leistungsregulierung von Einspritzflugmotoren gibt Abb. 11 Aufschluss. Der Pilot selbst betätigt lediglich die Gasdrossel, während die Regelung der Einspritzpumpe im Einklang mit den Druckverhältnissen im Einlass-Sammelrohr vollkommen automatisch vor sich geht. Um den Piloten, der, abgesehen von der Betätigung der Gasdrossel, auch noch durch Einschalten des rascheren Ganges im Kompressor-Antrieb die Motorleistung willkürlich regeln kann, an einer Ueberlastung des Motors zu hindern, ist ein automatischer Ladedruckregler vorgesehen, der direkt auf das Drosselgestänge einwirkt. Zur selbsttätigen Bedienung der Hauptzahnstangen zur Einspritzpumpe dient ein Kolben oder eine Membran (bzw. Barometerdose), die unter dem Einfluss des Druckes im Einlass-Sammelstutzen steht. Hiermit ist schon gesagt, dass sie auch den Einfluss der Luftverdünnung in grösseren Flughöhen automatisch Rechnung trägt.

Beim Junkers Jumo 211 A-Flugmotor wirkt der Druck im Sammelrohr nicht direkt über diese Membran auf die Haupt-

Zahnstangen der Einspritzpumpe ein, sondern sie steuert lediglich das Drehschieberventil eines durch Drucköl betätigten Servomotors (Abb. 11 und 12), der seinerseits die Zahnstange bedient. Das Öl wird dem Schwenkkolben-Servomotor von einer besonderen Zahnradpumpe zugeleitet, die ihrerseits ans Hauptschmiersystem des Motors angeschlossen ist. Jeder der beiden Pumpenblöcke enthält eine eigene Hauptzahnstange, die miteinander sowie mit dem Servomotor durch eine querliegende Zahnstange und verschiedene Zahnsegmente in mechanischer Verbindung stehen. Jede Hauptzahnstange setzt sich aus einer der Stempelzahl entsprechenden Zahl von kurzen Stücken zusammen, deren jedes sich relativ zu den andern mit Hilfe eines Mikrometergewindes verstehen lässt, um eine Feinregulierung der einzelnen Pumpenstempel zu ermöglichen. Die Mikrometergewinde sind in das Ende von teleskopartig ineinander gesteckten Röhren geschnitten (siehe D in Abb. 12), die die hohle Zahnstange der Länge nach durchdringen. An der Austrittsstelle sitzt auf jedem ein Knopf mit feinen Nuten, die alle nach Abnehmen einer Verschraubung am Pumpengehäuse leicht erreicht werden können. Zur Sicherung in der richtigen Stellung steckt man eine Hülse mit Innennuten über die Einstellknöpfe, und sichert diese ihrerseits durch einen Federring. Dank dieser Reguliermöglichkeit kann die in die einzelnen Zylinder eingespritzte Benzinnmenge ganz genau abgestimmt werden, um eine absolut gleichmässige Leistungsverteilung zu erhalten.

*

Wenn es auch nach dem zuletzt Gesagten in Deutschland bereits gelungen ist, das Problem des Benzineinspritzmotors bis in alle Einzelheiten einer gangbaren Lösung zuzuführen, so täuscht dies doch nicht über die Tatsache hinweg, dass wir hier erst am Anfang einer neuen Entwicklung stehen, die noch grosse Möglichkeiten bietet. Wir haben bereits angegedeutet, dass auch die Automobilmotoren hinsichtlich der Gemischverteilung noch wesentliche Vervollkommenungen zulassen, gleichzeitig aber darauf hingewiesen, dass für Motoren, die unter stark wechselnder Belastung laufen, eine rein qualitative Gemischregelung in irgend einer Art das Richtige wäre. Daneben müsste eine anspruchlose Pumpenkonstruktion gefunden werden, die sich für die billige Herstellung in grossen Serien eignet. Es wäre deshalb zu viel gesagt, wollte man behaupten, dass die Schöpfung des Automotors mit Benzineinspritzung bereits in greifbarer Nähe liege. Immerhin werden sich nach Abschluss des Krieges die Konstrukteure zweifellos energisch an die Lösung auch dieser Aufgabe machen, ähnlich wie man ja schon nach Schluss des Weltkrieges 1914/18 manche Erfahrungen aus der Militärtechnik für zivile Zwecke nutzbar machte. Eine Zeit lang ging sogar bereits vor Ausbruch der gegenwärtigen Krise das Gerücht um, der vielfach genannte deutsche «Volkswagen» werde mit Benzineinspritzung ausgerüstet, was sich jedoch bald als unzutreffend erwies.

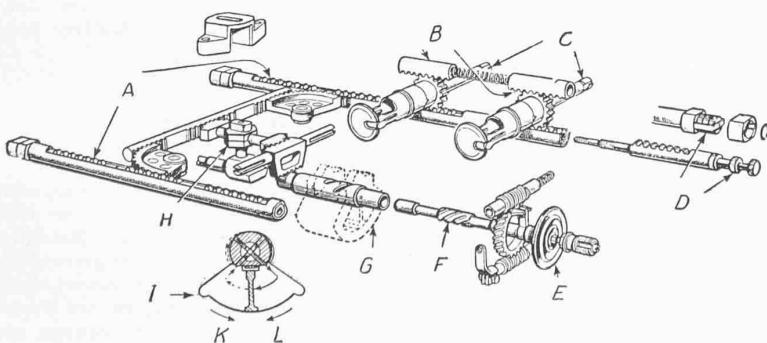
Vielversprechend erscheint auch eine Anwendung der Benzineinspritzung auf den Zweitaktmotor, der bisher bei Benzinbetrieb gleichstarke Viertakter hinsichtlich des Brennstoffverbrauchs unterlegen war. In diese Richtung zielen nicht zuletzt die Bestrebungen des Leiters der motortechnischen Abteilung an der E.T.H., Prof. Eichelberg, von dessen interessanter Versuchskonstruktion unlängst an dieser Stelle die Rede war¹²⁾. Wohin die Entwicklung uns auf diesem Gebiet letzten Endes führt, kann nur die Zukunft lehren. Konstrukteure und Wirtschaft haben jetzt das letzte Wort.

Vom Fährdienst über den Aermelkanal

[Innerhalb eines Monats hat der Krieg so tiefgreifende Veränderungen in die Verkehrsbeziehungen des Festlandes mit den britischen Inseln gebracht, dass ein Ueberblick über den Vorkriegsdienst auf diesem hochwichtigen Verbindungsweg von grösster Aktualität ist. Insbesondere bietet vorliegender Aufsatz eines gut orientierten Mitarbeiters auch Interesse für die Beurteilung des Bedürfnisses nach dem hier unlängst (S. 217 lfd. Bds.) besprochenen Kanaltunnel. Wann wohl wird etwas von all dem wieder möglich, wünschbar, nötig werden? Red.]

Vor dem Kriege bestanden zwischen Grossbritannien und dem Kontinent zwei Fährdienste: ein Frachtdienst zwischen Harwich und Zeebrugge (Belgien), sowie ein gemischter Dienst für Personen- und Frachtverkehr zwischen Dover und Dunkerque. Dieser zweite wurde bei Kriegsbeginn für den Zivilverkehr eingestellt, während der erstgenannte bis zur deutschen Invasion weitergeführt wurde.

¹²⁾ Der Benzineinspritzmotor an der LA, Bd. 114, S. 291* (16. Dez. 1939).

Abb. 12. Schema der Einspritzmengen-Verstellung am Junkers Flugmotor, Typ 211 A
A Hauptzahnstangen, B federbelastete Zahnstangenstücke, C Pumpenstempel,
D Einzelregulierung der Pumpenelemente, E Reglerdose, F Drehschieberventil des
Servomotors, G Servomotor, H Zahnsegment, I Diagramm des Plattenkolben-Servo-
motors, K Bewegungsrichtung des Plattenkolbens zur Anreicherung des Gemisches,
L Bewegungsrichtung des Plattenkolbens zur Magerung des Gemisches