

# **Die Gestaltungs- und Betriebsgrundlagen von Einspritzpumpen und Düsen für Diesel- und Otto-Flugmotoren**

Von Dr.-Ing. H. HEINRICH, Stuttgart

## **I. Allgemeines**

1. Die Einspritzung bei Diesel- und Otto-Flugmotoren
2. Die Kraftstoffführung
  - a) Diesel-Flugmotor
  - b) Otto-Flugmotor
3. Die Forderungen an die Einspritzrüstung und allgemeine Konstruktionsunterlagen
  - a) Einspritzgesetz
  - b) Einspritzpumpe
  - c) Einspritzdüse

## **II. Diesel-Flugmotor**

1. Einspritzpumpe
  - a) Systeme und Konstruktionen
    - α) Mittelbare Einspritzung (Akkumulierung)
    - β) Unmittelbare Einspritzung (periodische Druckerzeugung)
  - b) Anbau an den Motor
    - α) Einzelpumpen
    - β) Mehrzylinderpumpen
    - γ) Antrieb
    - δ) Kraftstoffleitungen
  - c) Ausführungsformen
2. Regelung der Einspritzpumpe
3. Einspritzdüsen und -halter
  - a) Einspritzdüsenausführungen
    - α) Geschlossene Düsen
    - β) Offene Düsen
  - b) Düsenhalter
  - c) Ausführungsformen

## **III. Einspritz-Otto-Flugmotor**

1. Einspritzpumpe
  - a) Allgemeines
  - b) Unterschied zwischen Einspritzpumpen für Otto- und Diesel-Motoren
    - α) Verschiedene Verbrennungsverfahren
    - β) Verschiedene Kraftstoffe
  - c) Ausführungsformen
2. Regelung der Einspritzpumpe
3. Einspritzdüsen
  - a) Allgemeines
  - b) Unterschied der Einspritzdüsen für Otto- und Diesel-Motoren
  - c) Ausführungsformen

Zusammenfassung

334

# Die Gestaltungs- und Betriebsgrundlagen von Einspritzpumpen und Düsen für Diesel- und Otto-Flugmotoren

## I. Allgemeines

### 1. Die Einspritzung bei Diesel- und Otto-Flugmotoren

Für die Verbrennung in einem Diesel- oder Otto-Motor ist die Gemischbildung zwischen Kraftstoff und Luft von ausschlaggebendem Einfluß. Beim Diesel-Motor ist für die Gemischbildung die Einspritzaus-rüstung verantwortlich, der Kraftstoff wird direkt in den Verbrennungsraum eingespritzt; beim Otto-Motor hatte diese Aufgabe bis jetzt ausschließlich der Ver-gaser. Die Gemischbildung findet im Vergaser und im anschließenden Saugrohr statt. Beim Diesel-Motor wird die Gemischbildung noch durch die Luftwirbelung im Zy-linder unterstützt; Beim Otto-Motor sorgt zusätzlich zum Vergaser die Luftwirbelung auf dem Saugweg für die Gemischbildung. Bei neuen Otto-Flugmotoren kann man jedoch an Stelle des Vergasers auch eine Einspritz-ausrüstung benutzen, weil hierdurch eine bessere Ge-mischbildung, d. h. geringerer Verbrauch und höhere Leistung erzielt wird. Ferner sind Feuergefährlichkeit, Vereisungs-gefahr, Lageempfindlichkeit und genaueste Regelfähigkeit weitere Punkte, die für die Einspritzung des-Kraftstoffes bei Otto-Motoren sprechen. Die Ein-spritzung des Kraftstoffes kann entweder in das Saug-rohr, vor die Saugventile oder direkt in den Zylinder erfolgen. Mit der Einspritzung in den Zylinder können die größten Vorteile erzielt werden. In Deutschland ist die Einspritzung in die Zylinder stark verbreitet, wäh-rend im Ausland von einer serienmäßigen Anwendung der Einspritzung nichts bekannt ist. Die Entwicklung wird jedoch in allen Ländern streng geheim behandelt.

Die Diesel-Motoren haben sich bis jetzt als Flugmo-toren noch wenig durchgesetzt, trotzdem sie verschiedene Vorteile haben, wie z. B. geringster Kraftstoffver-brauch, Wegfall der elektrischen Zündung, geringere Feuergefährlichkeit. Es hat sich bis jetzt in Deutsch-land nur der Junkers-Doppelkolbenmotor und der Daimler-Benz-Luftschiff-Diesel-Motor serienmäßig ein-geführt. Von serienmäßig eingebauten Diesel-Flugmo-toren im Ausland ist nichts bekannt, obwohl auch eine größere Anzahl ausländischer Firmen an der Entwic-klung solcher Motoren arbeiten, wie z. B.

in Frankreich: Clerget, Coatalen, Jalbert Loire  
in England: Bristol  
in Amerika: Packard, Guilberson, Deschamps  
in Italien: Fiat.

Die Gründe für die langsame Einführung des Diesel-Flugmotors sind:

- das ungünstigere Leistungsgewicht des Diesel-Flug-motors (min. 0,7 kg/PS) gegenüber dem Otto-Motor (etwa 0,5 kg/PS),
- die größeren Triebwerkschwierigkeiten,
- die Weiterentwicklung des Vergaser-Otto-Motors zum Einspritz-Otto-Motor, wodurch dessen Lei-stungsfähigkeit wesentlich gesteigert wurde.

### 2. Die Kraftstoffführung

#### a) Diesel-Flugmotor

Beim Diesel-Motor ist der Kraftstofffluß vom Tank bis zum Motorzylinder folgender (s. Abb. 1):

Mit Hilfe einer oder zweier Förderpumpen wird der Kraftstoff vom Tank angesaugt und unter einem Druck von max. 0,5 atü durch ein Filter zum Saugraum der Einspritzpumpe gefördert. Der Druck wird durch ein in der Förderpumpe eingebautes Überströmventil ein-gestellt. Die Einspritzpumpe drückt den Kraftstoff durch die Druckleitungen zur Einspritzdüse, und von

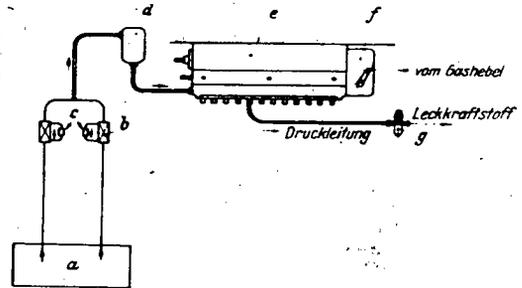


Abb. 1 Kraftstoffplan für Diesel-Flugmotor

- a) Kraftstoffbehälter
- b) Förderpumpe
- c) Druckregeloentil
- d) Filter
- e) Einspritzpumpe
- f) Regler
- g) Düse

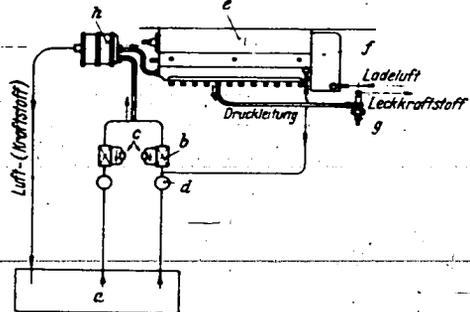


Abb. 2 Kraftstoffplan für Otto-Flugmotor

- a) Kraftstoffbehälter
- b) Förderpumpe
- c) Druckregeloentil
- d) Filter
- e) Einspritzpumpe
- f) Regler
- g) Düse
- h) Entlüfter

hier aus wird der Kraftstoff in den Motorzylinder ein-gespritzt. Das anfallende Lecköl an den Einspritzdüsen kann in einen Tank zurückgeleitet werden oder es kann auch als Lecköl außenbords abgeführt werden.

#### b) Otto-Flugmotor

Beim Otto-Flugmotor ist der Kraftstofffluß vom Tank bis zum Motor-Zylinder folgender (s. Abb. 2):

Zwei Förderpumpen saugen den Kraftstoff aus dem Tank über ein Filter an und fördern ihn unter einem Druck von 1,2 bis 1,5 atü zum Entlüfter. Der Druck wird von einem in der Förderpumpe eingebauten Überströmventil auf 1,2 bis 1,5 atü gehalten. Der im Entlüfter von Luft oder Dampfblasen befreite Kraft-stoff fließt zum Saugraum der Einspritzpumpe und von

der Einspritzpumpe durch die Druckleitungen zu den Einspritzdüsen. — Die im Entlüfter abgeschiedene Luft bzw. das Kraftstoff-Luftgemisch wird in die Rückströmleitung zum Kraftstoffbehälter zurückgeführt. Der zuviel geförderte Kraftstoff wird am Ende des Saugraumes zur Saugseite der Förderpumpe oder gemeinsam mit dem Kraftstoff-Luftgemisch des Entlüfters in den Tank zurückgeführt.

Der Entlüfter hat die Aufgabe, die durch die Förderpumpe angesaugte Luft in jeder Fluglage abzuschneiden. Grundsätzlich ist das auch für Diesel-Motoren notwendig. Solange jedoch der Diesel-Motor nicht im Kampfflugzeug verwendet wird, das in allen Fluglagen flugfähig sein muß, ist ein Entlüfter praktisch nicht notwendig.

Der Entlüfter trennt die Luft vom Kraftstoff auf Grund der verschiedenen Wichte von Luft und Kraftstoff. Eine schematische Ausführung ist aus Abb. 2a zu ersehen. Das Gemisch wird in einen Behälter geleitet, in dem sich die Flüssigkeit unten sammelt, üßt die Luft nach oben steigt. Dementsprechend befinden sich die Ableitungen für Kraftstoff und Luft an der tiefsten und höchsten Stelle des Behälters. Im Normalfall, wenn keine Luft abzuschneiden ist, ist es zweckmäßig, daß die Luftabsciedeöffnung verschlossen wird, weil sonst durch diese Öffnung Kraftstoff entweicht. Das Verschließen geschieht entweder durch einen schwimmergesteuerten Stenverschieber oder Nadelventil. Wird die Luftabsciedeöffnung nicht verschlossen, so muß der hier ausfließende Kraftstoff in einen Tank zurückgeführt werden. Verlangt man Betriebsfähigkeit in allen Fluglagen, dann muß durch ein Pendel die Kraftstoff- und Luftableitungsöffnung jeweils in die tiefste und höchste Lage gebracht werden.

Da der Leichtkraftstoff sehr gern zur Dampfblasenbildung neigt, ist bei der Leichtkraftstoff-Einspritzung ein Förderdruck von 1,2 bis 1,5 atü notwendig. Aus der leichten Blasenbildung des Leichtkraftstoffs erklärt sich auch die Zweckmäßigkeit der Durchspülung des Saugraumes der Einspritzpumpe. Diese Anordnung ist ein Unterschied gegenüber dem Diesel-Motor, der bei Schwerkraftstoffen die Gefahr der Blasenbildung nicht kennt.

### 3. Die Forderungen an die Einspritzrüstung und allgemeine Konstruktionsunterlagen

Die Einspritzrüstung ist für Diesel- und Otto-Flugmotor bis auf die Regelung prinzipiell gleich, wenn auch die Anforderungen, die an die Ausrüstung gestellt werden, z. T. verschieden sind.

Die Einspritzrüstung besteht aus:

- Einspritzpumpe,
- Regler,
- Druckleitung,
- Düsenhalter,
- Düse.

An sie wird bei Diesel- sowie Otto-Flugmotor folgende grundsätzliche Forderung gestellt:

Die Einspritzmenge/Hub muß genauestens bemessen jedem Zylinder zugeteilt und nach einem bestimmten Einspritzgesetz eingespritzt werden.

Beim Diesel-Motor erfolgt die Einspritzung in der Nähe des O. T. am Ende der Kompression; der eingespritzte Kraftstoff entzündet sich nach einer gewissen Zündverzugszeit von selbst.

Beim Otto-Motor wird während des Saughubes eingespritzt. Die Zündung des Gemisches erfolgt mittels eines Funkens.

#### a) Einspritzgesetz

Das Einspritzgesetz hängt ab von der Motorenart, dem Verbrennungsraum, der Drehzahl und von dem Kraftstoff selbst. Es beeinflusst Leistung, Kraftstoff-

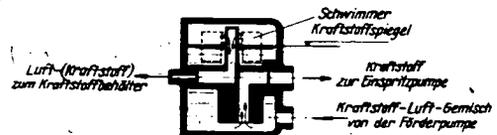


Abb. 2a Entlüfter

verbrauch, Verbrennungsraumtemperatur, Auspuff und Verbrennungsgeräusch in ausschlaggebendem Maße. Das Einspritzgesetz umfaßt Fördercharakteristik, Einspritzcharakteristik und Strahlcharakteristik.

Unter Fördercharakteristik einer Einspritzpumpe versteht man die Einspritzmenge/Hub in Abhängigkeit von der Drehzahl (s. Abb. 3a). Die Einspritzmenge/Hub muß sich der Luftfüllung und dem Mischungsverhältnis von Kraftstoff-Luft anpassen. Diese Faktoren hängen ab von den Öffnungszeiten der Ein- und Auslassventile, von der Luftwirbelung und von den Drosselwiderständen in den Ventilen, sowie vom Verbrennungsraum selbst. Hierdurch erklärt es sich, daß nicht jeder Motor gleicher Größe auch die gleiche Einspritzmenge vertragen kann. Beim Diesel-Motor ist nur die max. Einspritzmenge/Hub maßgebend, weil bei Teillast der Motor mit Luftüberschuß arbeitet. Beim Otto-Motor ist jedoch bei jeder Last und Drehzahl die verlangte Fördercharakteristik einzuhalten.

Unter Einspritzcharakteristik versteht man den zeitlichen Ablauf einer einzelnen Einspritzung in bezug auf Spritzzeit und Einspritzmenge ausgedrückt in KW.

Beim Diesel-Motor gelten in großen Zügen folgende allgemeine Bedingungen:

Der Kraftstoff wird kurz vor dem oberen Totpunkt, Kompressionshubende, eingespritzt. Je kleiner die Luftgeschwindigkeit oder die Luftwirbelung im Augenblick der Einspritzung im Verbrennungsraum ist, desto kürzere Spritzzeit ist notwendig. Jedoch ist nicht nur die Spritzzeit maßgebend, sondern auch die während dieser Zeit pro Grad eingespritzte Menge. Es ist von großer Bedeutung, ob zu Beginn oder am Ende des Einspritzvorganges mehr- oder weniger Kraftstoffmenge/Grad eingespritzt wird (s. Abb. 3b).

Bei Otto-Motoren spielt die Einspritzcharakteristik gegenüber dem Diesel-Motor eine untergeordnete Rolle, weil die Einspritzung des Kraftstoffes und die Vermischung mit der angesaugten Luft lange vor Zündbeginn, meistens während des Saughubes, erfolgt. Der Verbrennungsablauf wird somit nicht direkt durch diesen Einspritzvorgang beeinflusst.

Unter Strahlcharakteristik versteht man Fortschrittsgrad, Tropfengröße und Tropfenverteilung des aus der Düse ausgespritzten Düsenstrahls. Auch hier ist entsprechend der Luftwirbelung und dem Verbrennungsraum jeweils eine andere Strahlcharakteristik für eine einwandfreie Verbrennung notwendig.

Das Einspritzgesetz wird durch Einspritzpumpe und Düse bestimmt. Durch Änderungen der Einspritzpumpe, Nockenform, Einspritzkolbendurchmesser, Druckventil, Druckleitung, Einspritzdüse und Einspritzdruck können weitestgehend alle Bedingungen erfüllt werden.

#### b) Einspritzpumpe

Erfüllt die Einspritzpumpe das Einspritzgesetz, so sind folgende Gesichtspunkte ebenfalls von Bedeutung.

- Abmessung,
- Betriebssicherheit,
- Preis,
- Fördergenauigkeit,
- Einstellbarkeit.

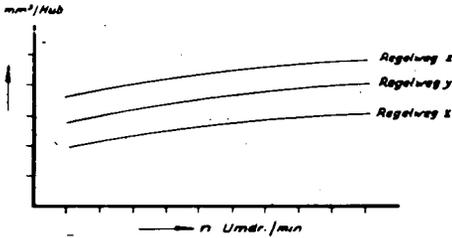


Abb. 3a Fördercharakteristik

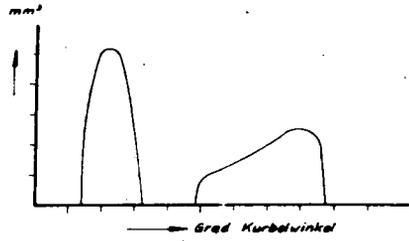


Abb. 3b Einspritzcharakteristik

Für die Festlegung der für einen Motor erforderlichen Einspritzpumpengröße ist die Größe der Einspritzmenge pro Zylinder und Hub maßgebend. Diese max. Einspritzmenge pro Hub errechnet sich:

$$q_{max} = \frac{be \cdot Ne_{max}}{n_{max} \cdot 30 \cdot \pi} \text{ Zyl. u. Hub} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{für 4-Takt}$$

$$Ne_{max} = \frac{pe_{max} \cdot v_H \cdot n_{max}}{900} \text{ (PS)}$$

$$q_{max} = \frac{be \cdot Ne_{max}}{n_{max} \cdot 60 \cdot \pi} \text{ Zyl. u. Hub} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{für 2-Takt}$$

$$Ne_{max} = \frac{pe_{max} \cdot v_H \cdot n_{max}}{450} \text{ (PS)}$$

- Hierbei ist:
- be (g/PS h) spez. Kraftstoffverbrauch bei Überlast
  - Ne<sub>max</sub> (PS) Höchstleistung (Abflugleistung)
  - n<sub>max</sub> (min<sup>-1</sup>) Höchstdrehzahl
  - z Zahl der Zylinder
  - γ (g/cm<sup>3</sup>) spez. Gewicht des Kraftstoffs
  - pe (kg/cm<sup>2</sup>) mittlerer Arbeitsdruck bei Höchstlast
  - v<sub>H</sub> (l) Hubvolumen des Motors.

Die Einspritzpumpen sind so klein wie möglich auszuführen, damit keine Anbauschwierigkeiten bestehen.

Auch bei robustem Betrieb und höchster Beanspruchung müssen die Einspritzpumpen mindestens während der Laufzeit eines Motors ohne Reparatur und ohne Störung arbeiten. Die Einspritzpumpe ist so zu entwerfen und zu fertigen, daß auch preislich für den Motor selbst die Einspritzrüstung keine zu hohe Belastung ist.

Eine gute Einstellbarkeit der einzelnen Pumpenzylinder ist unbedingt erforderlich. Die Fördermengen der einzelnen Zylinder müssen untereinander bei jeder Drehzahl und Regelstangenstellung gleich sein. Die erzielbare Einstellgenauigkeit liegt heute zwischen 1 bis 5 vH. Um diese Forderung zu erfüllen, ist der Kraftstoff luft- und dampfblasenfrei zur Einspritzpumpe zu fördern. Ferner ist dafür zu sorgen, daß in der Einspritzpumpe selbst keine Blasenbildung entsteht. — Sehr wichtig ist es weiterhin, daß der Förderbeginn und das Förderende der einzelnen Zylinder untereinander richtig versetzt ist und die Fördergeschwindigkeiten gleich sind.

Es ist von Vorteil, wenn die Einstellung der Einspritzmenge und der Spritzzeit in einfacher Weise durchzuführen ist. Vor allem ist zu vermeiden, daß bei einer Einstellung die Einspritzpumpe zu demontieren ist.

c) Einspritzdüse

Die Düse beeinflusst in jeder Weise die Strahlcharakteristik. Über die verschiedenen Ausführungsformen der Düse wird in einem späteren Abschnitt geschrieben.

Mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung und der Ausflußgleichung kann der notwendige Düsenquerschnitt und damit die Düsengröße bestimmt werden. Es ist:

- $$f_{K_0} \cdot v_{K_0} = f_D \cdot v_D$$
- $$v_D = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta p}{\gamma}} \text{ m/s}$$
- q = 0,6 - 0,85
- f<sub>K<sub>0</sub></sub> (mm<sup>2</sup>) Einspritzpumpenkolben-Querschnitt
  - v<sub>K<sub>0</sub></sub> (m/s) mittlere Einspritzpumpen-Kolbengeschwindigkeit
  - f<sub>D</sub> (mm<sup>2</sup>) Düsenöffnungsquerschnitt (Einspritzquerschnitt)
  - v<sub>D</sub> (m/s) Geschwindigkeit des austretenden Düsenstrahls
  - g: 9,81 m/s<sup>2</sup> Endbeschleunigung
  - Δp (kg/cm<sup>2</sup>) Einspritzüberdruck (= 100<sup>2</sup>  $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ )
  - γ (kg/cm<sup>3</sup>) spez. Gewicht des Kraftstoffs
  - q Ausflußbeiwert

Der Ausflußbeiwert ist starken Schwankungen unterworfen, bedingt durch Form des Durchflußquerschnitts, Länge der Bohrung usw., so daß nur durch Versuch die endgültigen und günstigsten Abmessungen festgelegt werden können. Genauere theoretische Unterlagen über die verhältnismäßig verwickelten Vorgänge sind in dem Werk von Dr.-Ing. Otto Pischinger, „Gemischbildung und Verbrennung im Diesel-Motor“ zu finden.

Wie bei jeder Kolbenmaschine ist Beanspruchung, Verschleiß und Kraftbedarf vom auftretenden Höchstdruck abhängig. Je höher der Druck, um so größer und schneller tritt Verschleiß ein.

Nun ist bei den Einspritzdüsen eine Grenze dadurch gegeben, daß nicht eine beliebig große Menge durch einen bestimmten Querschnitt in einem bestimmten Zeitraum eingespritzt werden kann, ohne daß von einem gewissen Wert ab der Einspritzdruck das zulässige Maß überschreitet.

Um einen einwandfreien Dauerbetrieb der Einspritzpumpe zu gewährleisten, sollte der Einspritzdruck 300 bis 350 at möglichst nicht überschritten werden.

Durch Geschwindigkeit, Spitzendruck und Ausflußquerschnitt wird die Zerstäubung und der Fortschrittsgrad des Düsenstrahles bestimmt. Bei dem Ausflußquerschnitt ist die Ausbildung der Lochlänge, der Kante usw. von großem Einfluß.

In der Praxis bis heute gebräuchliche Abmessungen von Düsenlochdurchmesser und -länge sind folgende:  
 Kleinster Lochdurchmesser: 0,2 mm; kleinste Lochlänge: 0,4 mm.  
 Größter Lochdurchmesser: 0,6 ÷ 0,8 mm.

Das Verhältnis von Lochdurchmesser zu Lochlänge ist im allgemeinen: 1:3 bis 1:5.

II. Diesel-Flugmotor

1. Einspritzpumpe

a) Systeme und Konstruktionen

Die an die Einspritzpumpe gestellten Forderungen wie z. B. Einspritzgesetz, Abmessungen, Betriebssicherheit usw. können auf mehrere Arten konstruktiv gelöst

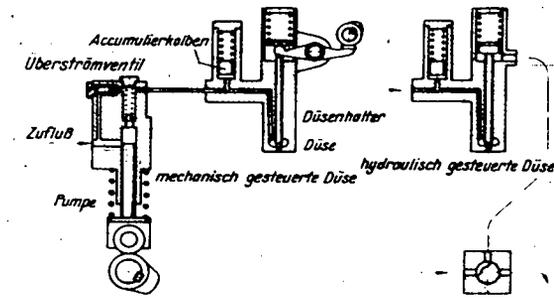


Abb. 4 Vorrats-Akkumulierung

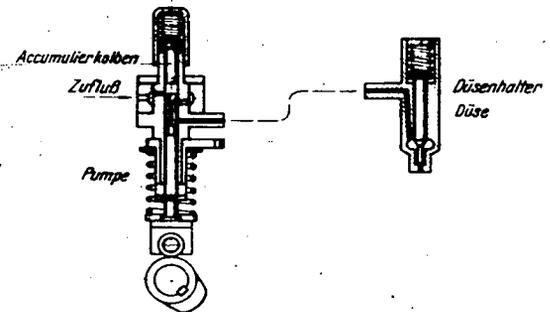


Abb. 5 Füllungs-Akkumulierung

werden. Die folgende kurze Zusammenstellung der verschiedenen Möglichkeiten erhebt nicht Anspruch auf vollständige Erfassung, sondern sie gibt nur die Hauptsysteme an. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen Akkumulierung (mittelbare Einspritzung) und periodischer Druckerzeugung (unmittelbare Einspritzung).

Einspritzsysteme mit Akkumulierung werden zur Zeit bei Diesel-Flugmotoren nur versuchsweise (z. B. Coatalen), jedoch nicht serienmäßig angewendet. Anwendung findet dagegen die:

- β) Unmittelbare Einspritzung (periodische Druckerzeugung durch Kolbeneinspritzpumpe)
- Kennzeichnend für die "kurz fördernde Einspritzpumpe" ist:

a) Mittelbare Einspritzung (Akkumulierung)

Bei den Einspritzsystemen mit Akkumulierung oder mittelbarer Einspritzung wird die Förderarbeit der Einspritzpumpe zu einer beliebigen Zeit während des Arbeitsspiels geleistet und der Kraftstoff unter hoher Spannung bis zum Augenblick der Einspritzung in einem sog. Akkumulator aufgespeichert. Als Akkumulator dient irgendein elastisches Mittel, wie z. B. federbelasteter Kolben, elastisches Gefäß, Windkessel oder die Elastizität des Kraftstoffes selbst. Es gibt zwei Möglichkeiten der Akkumulierung, nämlich Vorratsakkumulierung und Füllungsakkumulierung.

1. Vorratsakkumulierung (Abb. 4)

Es wird eine beliebige große, mindestens für Höchstleistung ausreichende Kraftstoffmenge unter dem verlangten Druck zwischen Pumpe und Düse aufgespeichert. Die Zumessung der notwendigen Einspritzkraftstoffmenge geschieht entweder mechanisch durch zwangsläufiges Öffnen und Schließen der Düsennadel, oder hydraulisch, indem mittels Verteilersteuerung ein zusätzlicher Druck die Bewegung der Düsennadel steuert.

Die Einspritzpumpe ist einfach, jedoch ist die Regulierung der Einspritzmenge schwierig. Ferner ist sie abhängig von der Drehzahl und die Einstellung kann erst vollständig am Motor erfolgen. Ein beliebiges Einspritzgesetz ist nicht erfüllbar, es ist höchstens durch eine zusätzliche mechanische Steuerung, die jedoch nicht sehr einfach ist, möglich.

2. Füllungsakkumulierung (Abb. 5)

Bei diesem System wird nur die vom Motor bei einer jeweiligen Belastung notwendige Kraftstoffmenge für die nächste Einspritzung unter Druck aufgespeichert. Die Bemessung erfolgt also schon durch die Druck- d. h. Einspritzpumpe, die z. B. als Kolbenpumpe mit Kantenregulierung ausgebildet sein kann. Die Pumpe ist nicht einfacher als bei unmittelbarer Einspritzung. Das System ist nur für konstante Drehzahl geeignet, da die Einspritzzeit in sec stets konstant ist, jedoch in Grad-Kurbelwinkel je nach der Drehzahl sich stark verändert. Das Einspritzgesetz schreibt meistens eine bestimmte gleiche Spritzzeit in Grad-Kurbelwinkel unabhängig von der Drehzahl vor. Offene Düsen lassen sich hierbei gut anwenden.

Es fällt Förderzeit der Pumpe und Einspritzzeit der Düse unter Berücksichtigung der entsprechenden Verschiebung infolge Einspritzverzögerung zusammen.

Zur Erzeugung des hohen Drucks ist praktisch nur eine Kolbenpumpe möglich. Die Art der Kolbenbewegung ist für das Einspritzgesetz wichtig.

1. Pumpentriebskonstruktionen

- a) Pumpenkolben Saughub federkraftschlüssig, Druckhub zwangsläufig nockengesteuert (Abb. 6a)
- b) Taumelscheibenantrieb (Abb. 6b) Druckhub zwangsläufig, Saughub federkraftschlüssig oder zwangsläufig
- c) Zwangsläufiger Antrieb des Kolbens für Saug- und Druckhub (Abb. 6c)

Zu a) Die Übertragung der Nockenbewegung auf den Pumpenkolben kann durch Rollenstößel, Flachstößel oder zwischengeschalteten Schwinghebel geschehen. Der Flachstößel hat bei etwas kleinerer Bauhöhe der Pumpe den Nachteil der geringeren Sicherheit infolge höheren Verschleißes und ist deshalb nicht allgemein anzuwenden.

Der Vorteil der nockengesteuerten Einspritzpumpen besteht neben ihrer Einfachheit und Betriebssicherheit in der Möglichkeit, das Einspritzgesetz durch die Nockenform beeinflussen zu können.

Zu b) Der Taumelscheibenantrieb wird auch bei Einspritzpumpenkonstruktionen angewendet. Er kann in Spezialfällen infolge seiner runden Bauform Vorteile bieten, jedoch ist das Einspritzge-

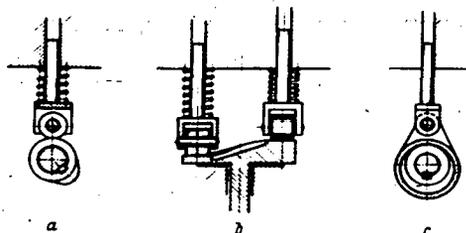
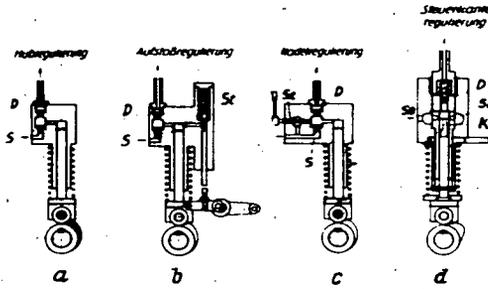


Abb. 6 Triebmerke: a Nocken, b Nockenscheibe, c zwangsläufiger Antrieb



**Abb. 7** *Regelung der Fördermenge*  
 D = Druckventil  
 S = Saugventil  
 Sr = Steuerventil  
 K = Steuerkante  
 Sa = Saugloch  
 Se = Steuerloch

setzt durch die Kolbenbewegung nicht immer so leicht, wie bei Fall a) zu beeinflussen. Ebenfalls ist man in der Zündfolge bei Mehrzylinderpumpen an eine bestimmte Reihenfolge gebunden.

Zur c) Ein zwangsläufiger Antrieb des Pumpenkolbens wird im allgemeinen nicht angewendet, weil er komplizierter als die unter a) und b) beschriebenen Konstruktionen ist.

**2. Regelung der Fördermenge bei Kolben-Einspritzpumpen**

Die Hauptunterschiede zwischen den Einspritz-Kolbenpumpen-Konstruktionen für unmittelbare Einspritzung sind durch die verschiedenen Möglichkeiten zur Regulierung der Fördermenge gegeben. Hubregulierung (Abb. 7 a)

- Hub veränderlich
- 1 Saugventil
- 1 Druckventil

**Vorgang der Förderung:**

Beim Saughub wird durch das Saugventil Kraftstoff in den Pumpenzylinder gesaugt und beim Förderhub durch das Druckventil in die Druckleitung gedrückt. Die Regulierung der Fördermenge durch Veränderung des Kolbenhubes geschieht entweder durch verschiebbaren Schrägnocken oder exzentrisch gelagerten Schwinghebel.

**Aufstoßregulierung (Abb. 7 b)**

- Hub konstant
- 1 Saugventil
- 1 Druckventil
- 1 Steuerventil

Der Vorgang der Förderung ist der gleiche wie bei Hubregulierung. Die Regulierung der Fördermenge geschieht durch früheres oder späteres Aufstoßen eines Steuerventils, das Saug- mit Druckraum verbindet.

**Überström- oder Nadelregulierung (Abb. 7 c)**

- Hub konstant
- 1 Saugventil
- 1 Druckventil
- 1 Steuernadel

**Vorgang der Förderung:**

Nachdem durch das Saugventil während des Förderhubes Kraftstoff angesaugt wurde, wird während des Druckhubes ein Teil des Kraftstoffes durch das Druckventil in die Druckleitung gefördert, während gleichzeitig ein Teil durch ein Steuerloch zur Saugseite zurückfließt. Der Quer-

schnitt des Steuerloches und somit die zurückfließende Menge wird durch eine Steuernadel gesteuert. Es ist zu beachten, daß die Vollastmenge, d. h. die max. einzuspritzende Kraftstoffmenge immer bei geschlossenem Steuerloch erfolgen muß, weil sonst die max. Fördermenge/Hub über den gesamten Drehzahlbereich nicht konstant ist.

**Steuerkantenregulierung (Abb. 7 d)**

- Hub konstant
- 1 Druckventil

Steuerung erfolgt durch Schrägkante am Pumpenkolben.

**Vorgang der Förderung:**

Befindet sich der Kolben im U.T., dann strömt durch zwei gegenüberliegende Bohrungen Sa und Se (Saugloch und Steuerloch) Kraftstoff aus einem Saugraum in den durch den Kolben freigegebenen Zylinderraum. Während des Förderhubes beginnt die Förderung durch das Druckventil in die Druckleitung erst nach Abschluß von Sa und Se durch den Kolben. Die Förderung ist beendet, wenn die schräge Steuerkante K des Kolbens das Steuerloch Se freigibt, und hierdurch Saug- und Druckraum verbunden werden. Durch Verdrehen des Kolbens wird das Steuerloch früher oder später von der schrägen Steuerkante K des Kolbens das Steuerloch Se freigibt, und dadurch die Förderung früher oder später beendet.

Je nach der eingespritzten Menge, die geregelt werden soll, und je nach der Drehung des Kolbens muß die Steuerkantensteigung geändert werden. Gebräuchliche Steuerkantensteigungen sind  $10 \div 20$  mm Steigung bezogen auf eine volle Kolbendrehung.

An Stelle der Saugöffnungen kann jedoch auch ein Saugventil treten.

Die einfachste, billigste und betriebssicherste Regelung ist die Steuerkantenregulierung. Diese Regelung wird z. B. von Bosch, Deutz und Junkers bei Diesel-Flugmotoren allgemein verwendet und hat sich im Betrieb bewährt. Die übrigen Regelungsarten werden heute in der Hauptsache nur noch bei stationären Großmotoren angewendet.

**b) Anbau an den Motor**

Der Anbau der Einspritzpumpen ist entweder als „Einzelpumpe“ oder als „Mehrzylinderpumpe“ möglich.

**a) Einzelpumpen**

Bei Verwendung von Einzelpumpen wird jede Einspritzpumpe mit dem betr. Motorzylinder zusammengebaut. Motorzylinder und Einspritzpumpe bildet eine Einheit. Hierdurch werden alle Antriebsorgane der Einspritzpumpe, die Einspritzpumpe selbst, sowie die Druckleitung für jeden Motorzylinder vollkommen gleich.

Der Vorteil dieser Konstruktionsart ist: Verwendung von gleichen und sehr kurzen Einspritzleitungen, bei Reparatur Ausbau nur einer Einzelpumpe.

Der Nachteil ist eine umständlichere Kraftstoffzufuhr zu jedem einzelnen Pumpenzylinder, sowie eine mehr oder weniger komplizierte Verbindung des Regelmechanismus der einzelnen Pumpen untereinander. Ferner ist für jede einzelne Pumpe ein besonderer Antrieb zu schaffen.

**b) Mehrzylinderpumpen**

Sehr gebräuchlich ist der Einbau von Mehrzylinderpumpen. Hierbei erhält man zwar längere Druckleitungen. Ferner muß bei Versagen eines Pumpenzylinders das gesamte Pumpenaggregat ausgebaut werden. Dem steht aber gegenüber:

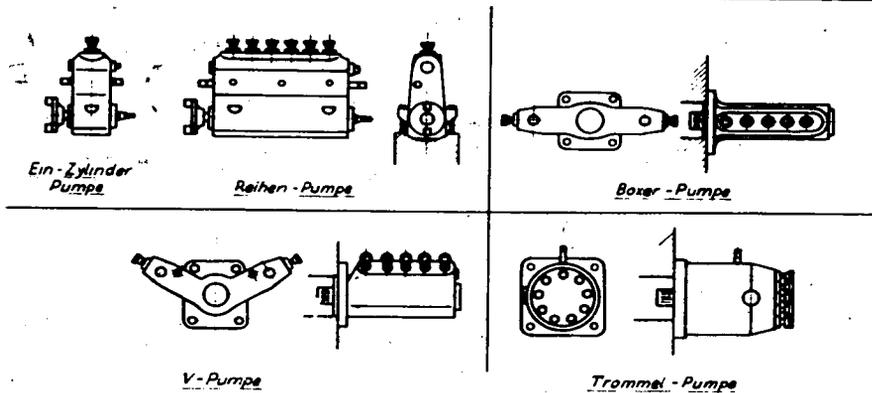


Abb. 8 Bauformen und Antrieb

- einfacher Antrieb,
- gute Einstellmöglichkeit der einzelnen Pumpenzylinder vor dem Anbau auf dem Einspritzpumpenprüfstand,
- einfache Kraftstoffzufuhr,
- leichter-Anbau-eines-Reglers.

Das gesamte Einspritzaggregat mit Pumpenregler kann fertig eingestellt geliefert werden, so daß auch nicht nur Spezialisten für den Einbau des Einspritzaggregats sowie für einen Umbau bei Reparaturen in Frage kommen.

Bei Reihenmotoren setzt man die Mehrzylinderpumpen an die Längsseite des Motors, die Nockenwelle parallel zur Kurbelwelle. Die Druckleitungen werden dann alle gleich der längsten notwendigen Druckleitung ausgeführt. — Bei V-Motoren kann die Pumpe zwischen die beiden Zylinderreihen oder an der Stirnseite angeordnet werden. — Sterndiesel-Flugmotoren sind bis jetzt nur im Ausland entwickelt worden. Packard und Guiberson wenden die Einzelpumpenbauart an. Bristol (Phoenix) baut zwei Mehrzylinderpumpen auf der Rückseite des Motors quer zur Kurbelwellenachse. Ferner kann auch eine Reihen- oder V-Pumpe an der Stirnseite des Sternmotors angeflanscht werden.

In Abb. 8 sind schematisch die Ein- und Mehrzylinderpumpen, sowie die verschiedenen Bauformen angegeben.

#### y) Antrieb

Die Antriebsdrehzahl der Einspritzpumpen bei 4-Takt-Motoren =  $\frac{1}{2}$  Motordrehzahl, bei 2-Takt-Motoren = Motordrehzahl.

Als Getriebe kommen nur direkte Zahnraduntersetzungen in Frage, weil bei allen anderen Antriebsarten der Spritzzeitpunkt sich verlagern kann.

Einzelpumpen werden meist von der Nockenwelle des Motors entweder direkt oder unter Zwischenschaltung von Kipphebeln, bzw. Stößstangen, angetrieben. Der Hersteller der Motoren muß hierbei die Nockenform für den Antrieb des Pumpenkolbens und auch die Einstellung des Nockens selbst ausführen.

Beim Anbau der Mehrzylinder-Pumpen ist meistens die Nockenwelle für den Antrieb der Pumpenzylinder in das Einspritzpumpengehäuse eingebaut. Der Verlauf des Einspritzvorganges, der neben anderen Faktoren sehr stark durch die Nockenwelle bestimmt wird, kann auf diese Weise am Pumpenprüfstand nachgeprüft werden. Durch eine Markierung der Nockenwelle zum Pumpengehäuse ist die Kupplung zwischen Einspritzpumpe und Motor festgelegt. Diese Markierung ist äußerst wichtig, denn für eine einwandfreie Verbren-

nung muß der Beginn des Einspritzvorganges zur Kolbenstellung genau festgelegt sein. Eine Feineinstellung der Kupplung ist durch zwei geteilte Kupplungshälften weiterhin noch möglich.

#### b) Kraftstoffleitungen

Die Ansaugleitung der Einspritzpumpe muß genügend Querschnitt aufweisen und strömungstechnisch möglichst günstig verlegt sein, d. h. sie darf keine scharfen Krümmungen aufweisen, damit Blasenbildung vermieden wird. Außerdem muß sie so verlegt sein, daß sich nirgends Luft ansammeln kann.

Der der Einspritzpumpe zugeführte Kraftstoff durchfließt ein Filter. Für die Lebensdauer der Einspritz-ausrüstung ist das Filter von maßgebendem Einfluß. Es muß stets ein gutes Filter verwendet werden, damit feinste Schmutz- und Stahlteilchen von den feinen Passungen der Einspritzpumpe- und Düse ferngehalten werden. Es ist darauf zu achten, daß eine einfache Reinigung und Entlüftung des Filters möglich ist.

Für den Saugraum der Pumpe selbst ist gleichfalls eine Entlüftungsmöglichkeit erwünscht.

Man ist bestrebt, die Druckleitungen so kurz wie möglich zu machen, doch müssen alle gleich lang sein und richten sich deshalb nach der längsten notwendigen Leitung. Der Druckleitungsquerschnitt hängt ab von der in der Zeiteinheit durchströmenden Einspritzmenge. Ist der Querschnitt zu klein, bzw. die Durchfließgeschwindigkeit zu groß, so entstehen unzulässig hohe Spitzendrücke in der Druckleitung, die den Einspritzvorgang verzerren und die Einspritzpumpe unnötig hoch belasten. Richtungsänderungen der Druckleitung sind ohne Einfluß auf die Einspritzung. Wichtig beim Flugbetrieb ist, daß sämtliche Leitungen schwingungsfrei verlegt und gegen evtl. Schwingungen gesichert werden durch zahlreiche Klemmen, Schellen und dergl. Das übliche Material für Druckleitungen ist Stahlrohr von  $6\varnothing \times 1,5$  (Wandstärke) oder  $6\varnothing \times 2$  (Wandstärke).

#### c) Ausführungsformen

In der Abb. 9a ist eine Bosch-Einspritzpumpe, Abb. 9b eine Junkers-Einspritzpumpe gezeigt.

Die Bosch-Einspritzpumpe ist eine Mehrzylinder-Einspritzpumpe mit eigener Nockenwelle. Die Regulierung der Einspritzmenge erfolgt durch eine Steuerkante. Der Ansaugvorgang wird durch ein Saugloch, das vom Stempel abgeschlossen wird, und der Druckvorgang durch ein Druckventil gesteuert. Der Antrieb des Pumpenkolbens erfolgt durch eine Nockenwelle.

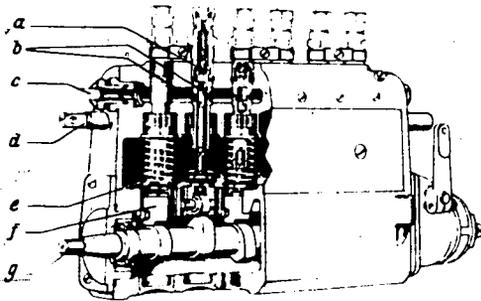


Abb. 9 a 6-Zylinder-Bosch-Einspritzpumpe

- a) Druckventil
- b) Element
- c) Kraftstoff-Zuleitung
- d) Regelstange
- e) Feder
- f) Rollenstößel
- g) Nockenrolle

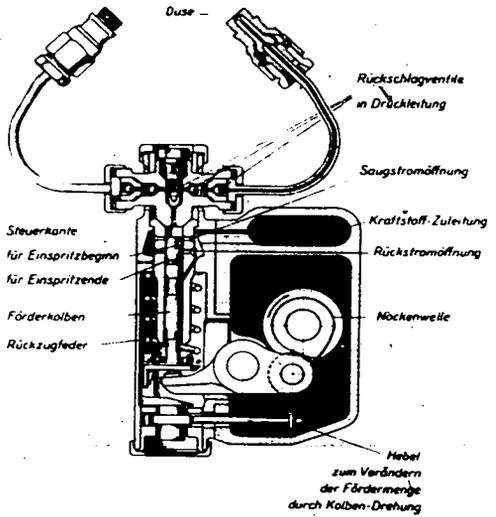


Abb. 9 b—Junkers-Einspritzpumpe

Die Junkers-Einspritzpumpe entspricht in ihrer Wirkungsweise und ihrem Aufbau grundsätzlich der Bosch-Einspritzpumpe. Es ist im Bild eine Einzel-Einspritzpumpe mit Fremdantrieb dargestellt.

Abb. 10 a zeigt ferner den Anbau von 4 Bosch-Pumpen beim D.-B.-Zeppelin-Flugmotor und Abb. 10 b den Anbau der Einzelflanschpumpen von Junkers am Jumo 205.

Über gebräuchliche Durchmesser und Pumpenkolbenhöhe können z. Z. noch keine allgemein gültigen Angaben gemacht werden, da bis jetzt zu wenige serienmäßige Typen vorhanden sind.

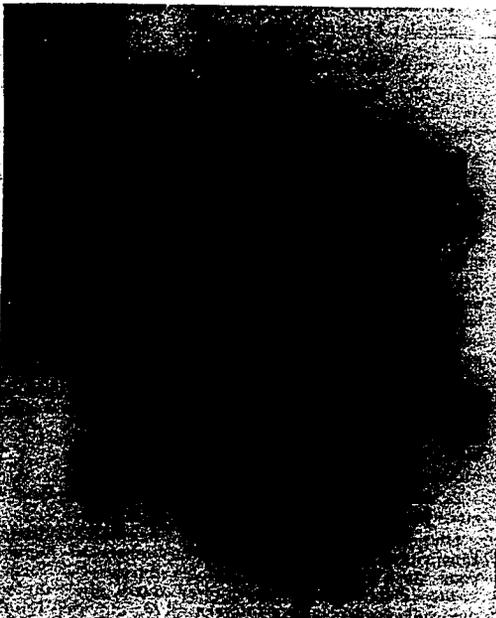


Abb. 10 a  
Daimler-Benz Luftschiff-Dieselmotor „LOF 6“

## 2. Regelung der Einspritzpumpe

Die Regelung des eingespritzten Kraftstoffes ist beim Diesel-Motor im allgemeinen sehr einfach, weil der eingespritzte Kraftstoff unabhängig vom Luftüberschuß verbrennt.

Es ist nur zu regeln:  
die max. Einspritzmenge und  
die Einspritzmenge für den Leerlauf des Motors.

Die max. Einspritzmenge ist zu begrenzen, damit bei zu geringem Luftüberschuß der Motor nicht überlastet wird und der Motorauspuß raucht. Diese max. einzuspritzende Kraftstoffmenge hängt ab

- vom Ladedruck, d. h. von der Luftfüllung,
- von der Temperatur der angesaugten Luft,
- von der Flughöhe, d. h. vom Luftzustand, in den die Auspußgase ausströmen.

Die Regelung erfolgt durch eine Begrenzung des max. Regelstangenanschlages.

Ferner ist eine Regelung des Leerlaufes notwendig. Zu diesem Zweck wird durch einen mechanischen oder hydraulischen Regler, der abhängig von der Leerlaufdrehzahl sich verändert und mit der Regelstange verbunden ist, die eingespritzte Kraftstoffmenge geregelt.

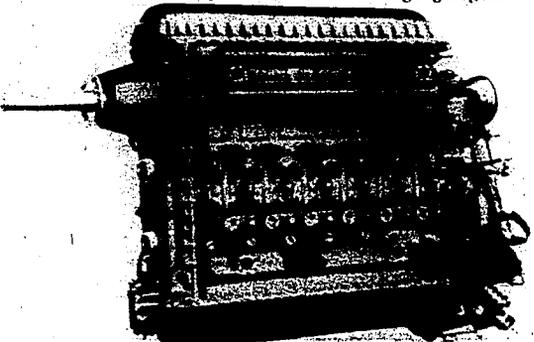


Abb. 10 b Junkers-Diesel-Flugmotor Jumo 205

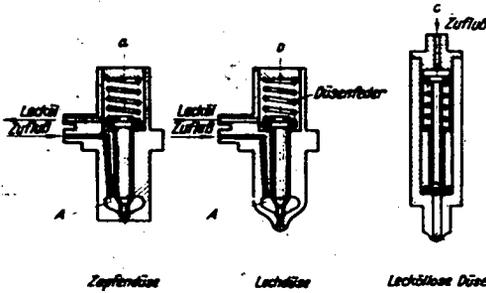


Abb. 11 Geschlossene Düsen

### 3. Einspritzdüsen und Halter

#### a) Einspritzdüsenausführungen

Durch die Düse wird der Kraftstoff zerstäubt und in den Zylinder gespritzt. Je nach der Ausführungsform der Düse, kann die für den betr. Motor gewünschte Strahlcharakteristik erzielt werden.

Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Düsen: die mechanisch und hydraulisch gesteuerte Düse. Es gibt auch elektrische Düsensteuerungen, jedoch hat diese Ausführung bis heute noch keine praktische Bedeutung erlangt, weil sie zu kompliziert ist und zu leicht zu Störungen Anlaß gibt.

Die mechanisch gesteuerte Düse wird nur in Verbindung mit einem Akkumulier-Einspritzsystem verwendet. Da sich jedoch diese Art der Einspritzung im Flugmotorenbau bis jetzt nicht eingeführt hat, so soll auch die mechanisch gesteuerte Einspritzdüse nicht näher betrachtet werden. Bei den hydraulisch gesteuerten Düsen gibt es folgende prinzipielle Ausführungen:

1. geschlossene Düsen, s. Abb. 11,
2. offene Düsen, s. Abb. 12.

#### a) Geschlossene Düsen

Das Arbeiten einer geschlossenen Düse ist aus der Abb. 11 zu erkennen. Der von der Einspritzpumpe kommende Oldruck greift an der Ringfläche A zwischen Nadelsitz und Düsenadel-Ø an. Die Nadel wird durch einen Federdruck auf den Sitz gepreßt. Die Nadel kann erst gegen den Federdruck gehoben werden, wenn der Kraftstoffdruck auf die Ringfläche A der Düsenadel größer als der Federdruck ist. Durch mehr oder weniger starkes Vorspannen der Düsenfeder kann der Öffnungsdruck verschieden eingestellt werden. Ist die Nadel angehoben, so kann aus dem freien Düsenquerschnitt der Kraftstoff ausströmen.

Der Düsenquerschnitt wird sehr verschieden ausgeführt. Bei den geschlossenen Düsen unterscheidet man Zapfendüsen (Abb. 11 a) und Lochdüsen (Abb. 11 b).

Die Zapfendüsen werden vor allem in Motoren mit unterteiltem Verbrennungsraum eingebaut (z. B. Vorkammer), d. h. in Verbrennungsmotoren mit großer Luftwirbelung. Bei diesen Motortypen wird die gute Verwirbelung und Vermischung des Kraftstoffes weniger der Düse als dem Verbrennungssystem selbst überlassen. Die Zapfendüsen haben den Vorteil, daß die Düse nicht verkockt, weil der freie Düsenquerschnitt durch den hin- und hergehenden Zapfen immer wieder gereinigt wird.

Durch Änderung des Zapfenanschliffs kann die Strahlform beeinflusst werden. Es kann der Spritzwinkel zwischen 0° und 150° verändert werden. Der aus der Düse ausgespritzte Kraftstoffstrahl entspricht bei der Zapfendüse jeweils einem geschlossenen Kegelmantel von entsprechendem Winkel.



Abb. 12 Offene Düse

Die Lochdüsen (Abb. 11 b) werden in der Hauptsache in Motoren mit direkter Strahleinspritzung eingebaut. Bei diesem Motortyp mit geringerer Luftwirbelung fällt der Einspritzdruck fast allein die Aufgabe zu, den einzuspritzenden Kraftstoff gleichmäßig zerstäubt im Verbrennungsraum zu verteilen und mit der Verbrennungsluft zu vermischen. Dies wird erreicht durch eine Anordnung von mehreren Bohrungen, deren Lochwinkel und Lochanzahl der Form des Verbrennungsraumes angepaßt werden. Ferner ist im allgemeinen der Einspritzdruck höher (200 bis 300 at gegenüber 100 at bei Zapfendüsen). Die Einspritzcharakteristik kann durch die Lochlänge, den Loch-Ø und den Einspritzdruck sehr stark verändert werden.

Bei den bis jetzt beschriebenen Düsen entsteht infolge des Düsenadeldspiels im Düsenkörper Lecköl, das durch eine besondere Leitung abgeführt werden muß. In der Abb. 11 c ist jedoch schematisch eine Düse gezeigt, die auch als Loch- und Zapfendüse ausgeführt werden kann, bei der kein Lecköl entsteht, weil die Düsenadel nach dem Verbrennungsraum zu öffnet.

#### b) Offene Düsen

Die offenen Düsen (Abb. 12) sind in ihrem Aufbau einfacher als die geschlossenen, denn diese Düsenausführung hat überhaupt kein bewegliches Teil. Die Zerstäubung des Kraftstoffes und der notwendige Einspritzdruck wird durch die Drosselwirkung im freien Düsenquerschnitt erzeugt.

Trotz der einfachen Bauart der offenen Düsen kann eine derartige Düsenausführung nicht allgemein verwendet werden, weil die Strahlcharakteristik sehr stark von dem Leitungsvolumen und vom freien Düsenquerschnitt abhängt. Wird auch bei niedriger Drehzahl eine gute Zerstäubung des Kraftstoffes verlangt, so müssen verhältnismäßig kleine Düsenquerschnitte verwendet werden. Diese verursachen jedoch zwangsläufig bei hohen Drehzahlen einen sehr hohen Spitzendruck und eine Verlängerung der Spritzzeit.

#### b) Düsenhalter

Der Einbau der Düsen im Zylinderkopf und die Verbindung mit der Einspritzpumpe durch die Druckleitung erfolgt durch den Düsenhalter. Der prinzipielle Aufbau eines Düsenhalters ist aus Abb. 13 zu sehen. Von der Druckleitung kommend fließt der Kraftstoff

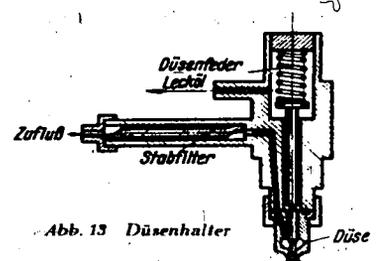


Abb. 13 Düsenhalter

durch Bohrungen im Düsenhalter zur Einspritzdüse. Die Einspritzdüse ist mittels einer Überwurfmutter am Halter befestigt. Im Halter selbst ist die Düsenfeder eingebaut, die den Öffnungs- und Einspritzdruck steuert. Zwecks Gewichtsersparnis vereinigt man bei Flugmotoren Düsenhalter und Düse. Hierdurch entsteht eine sehr kleine und leichte Ausführung.

Bei der Konstruktion des Zylinderkopfes ist dafür Sorge zu tragen, daß die Wärme von der Düse, bzw. Düsenhalterschaft leicht abgeführt wird, damit die Düse nicht zu heiß wird. Weiterhin ist beim Einbau darauf zu achten, daß der Düsenhalter und die Düse in die Bohrung des Zylinderkopfes passen, denn durch seitliche Drücke auf die Düse tritt ein Klemmen der Düsen-nadel ein.

Um ein Verstopfen der Lochdüsen durch Fremdkörper, die sich im Kraftstoff befinden, zu verhindern, wird in den Druckrohrstutzen des Düsenhalters ein Staßfilter eingebaut. Dieses Filter ist in der Lage, sehr kleine Verunreinigungen zurückzuhalten.

c) Ausführungsformen

In Abb. 14 ist eine geschlossene Zapfendüse von Bosch gezeigt. Während in Abb. 15 der grundsätzliche Aufbau einer offenen Düse von Junkers zu sehen ist.

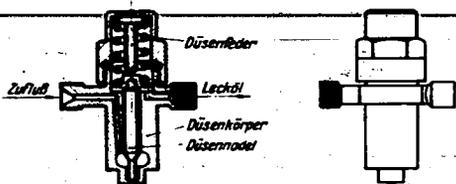


Abb. 14 Bosch-Zapfendüse für Diesel-Flugmotoren

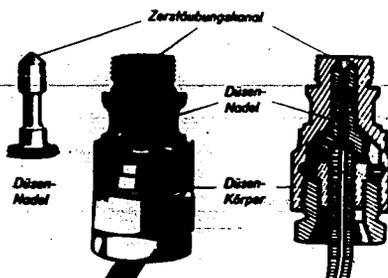


Abb. 15 Offene Junkers-Einspritzdüse Junker 205

III. Einspritz-Otto-Flugmotor

1. Einspritzpumpe

a) Allgemeines

Grundsätzlich lassen sich sämtliche für den Diesel-Motor entwickelten Systeme und Regelungsmethoden auch auf die Leichtöl-Einspritzpumpen-Konstruktionen übertragen, sofern hierbei den besonderen Anforderungen und Betriebsbedingungen des Leichtölbetriebes Rechnung getragen wird. Bewährt und eingeführt hat sich, wie beim Diesel-Motor, die Einspritzpumpe mit unmittelbarer Einspritzung, und zwar wird als Triebwerk ebenfalls ein Nocken oder eine Taumelscheibe verwendet und zur Regelung der Einspritzmengen die Steuerkantenregelung.

b) Unterschied zwischen Einspritzpumpen für Otto- und Diesel-Motoren

a) Bedingt durch die verschiedenen Verbrennungsverfahren

Die Einspritzung für den Otto-Motor ist einfacher. Im Otto-Motor ist die Einspritzzeit gegenüber dem Diesel-Motor wesentlich länger. In Grad ausgedrückt beträgt die Einspritzzeit beim Diesel-Motor etwa 10 bis 30° Kurbelwinkel, während beim Otto-Motor 100 bis 150° Kurbelwinkel ohne weiteres zulässig sind. Ebenfalls spielt die Einspritzgeschwindigkeit keine bedeutende Rolle. Aus diesen Gründen liegen beim Otto-Motor folgende veränderte Einspritzbedingungen vor:

- a) An Stelle eines steilen Nockens für kurze Spritzzeit ist ein Nocken mit langsamer Erhebungskurve verwendbar. Bei Diesel-Einspritzpumpen beträgt die mittlere Geschwindigkeit des Pumpenkolbens bei  $n = 1000$  Pumpenumdrehungen 1,5 bis 2,5 m/s, bei Benzin-Einspritzpumpen beträgt sie 0,5 bis 1 m/s. Hierdurch wird die Belastung der Einspritzpumpe (Nockenwelle, Stüssel usw.) herabgesetzt, denn durch die niederen Einspritzgeschwindigkeiten sind die Einspritzdrücke geringer.

- b) Druckleitungsängen haben keinen besonderen Einfluß.

- c) Bei Diesel-Motoren kann niemals der Hub des Einspritzpumpenstempels voll ausgenutzt werden, weil die Einspritzgeschwindigkeit gegen Ende des Einspritzhubes zu langsam ist. Der Einspritzpumpenstempel kommt bis auf die Geschwindigkeit Null im oberen Totpunkt, d. h. bei Erreichung seines max. Hubes. Hierdurch entsteht selbstverständlich am Ende der Einspritzung kein exakter Einspritzvorgang mehr. Beim Otto-Motor ist jedoch eine volle Ausnutzung des Stempelhubes möglich, weil die Einspritzcharakteristik keine ausschlaggebende Rolle spielt.

Durch diese Erleichterung der Einspritzpumpenbedingungen kann eine Einspritzpumpe mit gleichen äußeren Abmessungen beim Otto-Motor für wesentlich größere Motorabmessungen als beim Diesel-Motor verwendet werden.

β) Bedingt durch den Kraftstoff

Im Gegensatz zur Schweröleinspritzpumpe erfordert die geringe Schmierfähigkeit und Zähigkeit des Leichtöls eine Kolbenschmierung und Abdichtung des Pumpenkolbens gegen den Nockenraum. Das Benzin dringt trotz des geringen Spiels der Pumpenkolben in den Zylindern am Kolben vorbei in den Nockenraum und verdünnt das Schmieröl im Einspritzpumpengehäuse. Es wird somit eine sogenannte Sperre des Lecköls notwendig, die verhindert, daß Benzin in den Nockenwellenraum gelangt. Eine gebräuchliche Form der sogenannten „Lecksperre“ ist aus Abb. 16 ersichtlich.

c) Ausführungsformen

Die Firmen Bosch, Deckel und Junkers liefern z. Z. in Deutschland Einspritzpumpen für Otto-Flugmotoren.

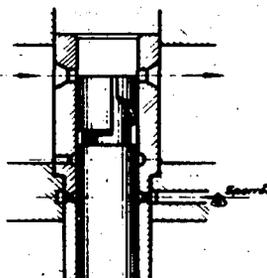


Abb. 16 Lecksperre

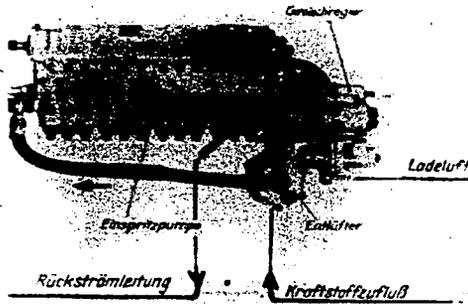


Abb. 17 a Bosh 12-Zyl.-Einspritzpumpe in Reihenform



Abb. 17 b Bosh 9-Zyl.-Einspritzpumpe in V-Form

In Abb. 17 a, b, c und d werden 3 typische Einspritzpumpenbauarten für den Otto-Flugmotor gezeigt.

Abb. 17 a zeigt eine 12-Zylinder-Bosh-Einspritzpumpe in Reihenform mit angebaute Entlüfter und Gemischregler.

Abb. 17 b zeigt eine 9-Zylinder-Bosh-Einspritzpumpe in sogenannter V- bzw. Boxerausführung.

Der Winkel zwischen den beiden Elementreihen kann je nach der Anbaumöglichkeit der Einspritzpumpe sowie entsprechend der Zündfolge geändert werden. Eine ähnliche Bauform wird z. Z. auch von der Firma Junkers hergestellt. Der innere Aufbau der Bosh- und Junkers-Einspritzpumpe ist im Prinzip der gleiche wie auf den Abb. 9 a und b. dargestellt ist.

Der Anbau von Einzelpumpen an jeden Motorenzylinder empfiehlt sich nicht, weil infolge der genauen Regelung, der Dampfblasenbildung des Kraftstoffes und der zusätzlichen Ölführung die Verbindung der einzelnen Pumpen untereinander wesentlich schwieriger ist als beim Diesel-Motor.

## 2. Regelung der Einspritzpumpe

Im Gegensatz zum Diesel-Motor, bei dem nur die max. Einspritzmenge zu regeln ist, hat der Regler der Einspritzpumpe für den Otto-Motor stets die Aufgabe zu erfüllen, das günstigste Mischungsverhältnis zwischen Luft und Kraftstoff bei allen Belastungen, Drehzahlen und jeder Flughöhe einzustellen. Um diese Aufgabe zu erfüllen, muß der Gemischregler folgende Funktionen ausüben:

- Regelung der Einspritzmenge nach dem Druck in der Ladeleitung. Dieser Druck in der Ladeleitung ist von der Drosselklappenstellung, Drehzahl und Flughöhe abhängig.
- Regelung der Einspritzmenge nach dem jeweiligen atmosphärischen Druck, gegen den die Auspuffgase ausströmen. Der Restgasanteil im Zylinder wird infolge der besseren Ausspülung um so geringer, je geringer der Auspuffgedruck ist, um so mehr kann dementsprechend eingespritzt werden.
- Regelung der Einspritzmenge, abhängig von der Temperatur der angesaugten Luft.
- Regelung der Einspritzmenge für besondere Motoreinstellung, wie z. B. Start oder Reiseleistung. Beim Start wird absichtlich der Motor mit stark überfettetem Gemisch betrieben, damit durch die größere eingespritzte Kraftstoffmenge die Verbrennungstemperatur herabgesetzt wird.

Für Reiseleistung will man mit ärmerem Gemisch fahren, um Kraftstoff zu sparen und große Wegstrecken zurücklegen zu können. Dieses ärmste Gemisch liegt meistens unter dem theoretischen Kraftstoff-Luftgemisch.

Die Funktion des Reglers ist für die Einspritzausrüstung von ungeheurem Einfluß. Der Regler muß absolut genau arbeiten und sehr schnell reagieren. In der guten Regelung, die jeweils am Prüfstand nachkontrolliert werden kann, liegt einer der Hauptvorteile der Einspritzung gegenüber dem Vergaser beim Otto-Flugmotor.

## 3. Einspritzdüsen

### a) Allgemeines

Die richtige Strahlcharakteristik der Einspritzdüsen für den Otto-Motor ist von großer Wichtigkeit, jedoch ist sie im Vergleich zum Diesel-Motor auf die Verbrennung von nicht so ausschlaggebendem Einfluß. Es ist in der Hauptsache auf eine gute Raumverteilung des Düsenstrahles und auf eine gute Zerstäubung zu achten, damit die Gemischbildung des Kraftstoffes mit der Luft stets richtig ist und eine einwandfreie Entzündung sowie Verbrennung erfolgen kann. Es werden auch beim Otto-Motor geschlossene und offene Düsen benutzt.

Es ist großer Wert auf die Verlegung der Druckleitung zwischen Einspritzpumpe und Düse zu legen. Die Druckleitungen dürfen keinesfalls während des Betriebs brechen oder auch nur undicht werden, weil sonst das Kraftstoff-Luftgemisch in dem betreffenden Zylinder zu arm wird und infolge Fehlzündung, bzw. schlechter Verbrennung der gesamte Motor unruhig läuft und stark schüttelt. Ferner kann auch der Leichtkraftstoff an den heißen Motor spritzen und sich entzünden. Diese Gefahr ist jedoch nicht so groß, weil der Luftstrom, der durch den Propeller erzeugt wird, den Kraftstoff sofort wegläbt, ehe er sich entzündet. Durch Anbringung von Versteifungshülsen an den Enden der Druckleitungen und durch gute Befestigung der Druckleitung an mehreren Stellen, ist die Gefahr des Brechens der Druckleitungen praktisch vollkommen behoben.

### b) Unterschied der Einspritzdüsen für Otto- und Diesel-Motor

Ein prinzipieller Unterschied in der Bauweise besteht nicht. Aus Gewichtersparnis werden die Düsen und Halter grundsätzlich aus einem Stück gebaut. Die Düsen können im allgemeinen leichter ausgeführt werden, weil die Einspritzdrücke geringer sind.

Auf Dichtheit der Düsen muß nicht so großer Wert gelegt werden. Ferner spielen Öffnungs- und Schließdruck der Düsen eine untergeordnete Rolle.

### c) Ausführungsformen

Düsen für Otto-Flugmotoren liefern z. Z. die Firmen: Bosch, Deckel, Junkers, L'Orange.

Abb. 18 a zeigt eine Bosh-Einspritzdüse. Es ist eine geschlossene Düse, an deren Düsenadel ein Zapfen angeschlossen ist, wodurch ein bestimmter Spritzwinkel des Düsenstrahles erzielt wird.

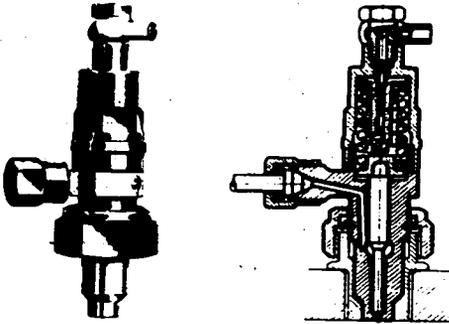


Abb. 18 a Bosh-Einspritzdüse

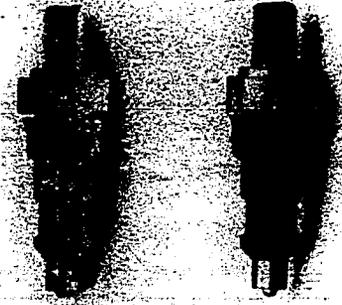


Abb. 18 b L'Orange-Düse

Abb. 18 b zeigt eine L'Orange-Einspritzdüse. An der Ausspritzöffnung der Düse sind Löcher angebracht, so daß der Kraftstoff in mehreren Strahlen in einem bestimmten Winkel zueinander, entsprechend dem Verbrennungsraum, ausgespritzt wird. Ein federbelastetes Ventil schließt die Druckleitung gegen den Verbrennungsraum ab. Ferner ist in dem Zulaufstutzen der Düse ein Filter eingebaut, damit nicht Schmutz- und Metallteile die Düsenlöcher verstopfen.

die einzelnen Bedingungen, die an die Einspritzausrüstung gestellt werden und die Ausführungsmöglichkeiten der Einspritzpumpen und Düsen, die serienmäßig gebaut werden, in kurzen Umrissen erklärt worden. Der Diesel-Flugmotor und der Einspritz-Otto-Flugmotor sind noch sehr jung, so daß es große Schwierigkeiten bereitet, über die Einspritzausrüstung bei Flugmotoren ein umfassendes Bild zu geben.

#### Zusammenfassung

Es wurde eine Zusammenstellung der Gestaltungs- und Betriebsgrundlagen von Einspritzpumpen und Düsen für Diesel- und Otto-Flugmotoren gegeben. Dieser Bericht erhebt nicht Anspruch auf Vollständigkeit. Es sind

Genauere Angaben für die Einspritzausrüstungen der Flugmotoren über gebräuchliche Pumpenabmessungen, Regelwege, Steuerkantensteigungen, Verhältnis von Pumpenkolben-Durchmesser zum Pumpenhub sind aus diesem Grunde augenblicklich noch nicht möglich und werden einer späteren Arbeit vorbehalten bleiben müssen.

Abgeschlossen am 16. Februar 1940