

D.(Luft) T. 3471

Junkers Einspritzanlage
für
Flugmotor JUMO 211 F u. J

Geräte-Handbuch
(Stand November 1942)

Der Reichsminister der Luftfahrt
und Oberbefehlshaber der Luftwaffe

Berlin, den 10. November 1942

Technisches Amt
GL/C (E 3 VIII)

Hiermit genehmige ich die D. (Luft) T. 3471
„Junkers Einspritzanlage für Flugmotor JUMO
211 F u. J. Geräte-Handbuch (Stand November
1942). Ausgabe November 1942.“

Sie tritt mit dem Tage der Herausgabe in Kraft.

I. A.

Vorwald

Inhaltsverzeichnis

1. Einspritzpumpe	5
A. Aufbau und Arbeitsweise.....	8
1. Aufbau eines Pumpenelementes	9
2. Wirkungsweise eines Pumpenelementes	11
3. Veränderung der Einspritzmenge	11
B. Der Kraftstoffweg	13
C. Die Schmierstoffversorgung	14
II. Einspritzpumpenregler	15
1. Der Geber	16
2. Der Verstärker	18
3. Wirkungsweise	19
4. Die Anreicherungs-Einrichtung	20
a) Die automatische Anreicherung.....	21
b) Die willkürliche Anreicherung	23
5. Ein Beispiel für die Wirkungsweise der Gemischregelung	23
6. Die Stop-Einrichtung	24
III. Regelgetriebe	26
IV. Kraftstoff-Entlüfter	27
V. Die Einspritzdüse	28
VI. Elektrische Kraftstoff-Verbrauchsmessung	29
VII. Einregulierung der Einspritzanlage.	29

Abbildungen

Abb. 1: Außenansicht des Einspritzgerätes - Antriebsseite	6
Abb. 2: Außenansicht des Einspritzgerätes - Entlüfterseite	6
Abb. 3: Lage der 12 Einzel-Einspritzpumpen und Motorzylinder	7
Abb. 4: Der Pumpenstempel-Steuerkopf	10
Abb. 5: Regulierstange mit Einzel-Einstellung	12
Abb. 6: Der Einspritzpumpen-Regler	16
Abb. 7: Schnitt durch den Verstärker	18
Abb. 8: Regelgetriebe	26
Abb. 9: Der Kraftstoff-Entlüfter	27
Abb. 10: Die Einspritzdüse	28
Abb. 11: Einregulierung der Einspritzanlage	30
Abb. 12: Einregulierung der Anreicherungs-Einrichtung	31

Im Anhang

Abb. 13: Schnitt durch ein Pumpenelement	
Abb. 14: Der Förderhub	
Abb. 15: Veränderung der Einspritzmenge	
Abb. 16: Der Kraftstoffweg	
Abb. 17: Kraftstoffweg mit Druckhaltepumpe - Schematische Darstellung	
Abb. 18: Kraftstoffweg ohne Druckhaltepumpe - Schematische Darstellung	
Abb. 19: Schmierstoff-Umlauf - Schematische Darstellung	
Abb. 20: Geber und Verstärker	
Abb. 21: Wirkungsweise des Verstärkers - Automatische Verstellung auf größere Einspritzmenge	
Abb. 22: Wirkungsweise des Verstärkers - Automatische Verstellung auf kleinere Einspritzmenge	
Abb. 23: Einspritz-Diagramm der Einspritzanlage JUMO 2009 D-1	
Abb. 24: Einspritz-Diagramm der Einspritzanlage JUMO 2021 A-3	
Abb. 25: Einspritzpumpenregler-Schema - Anreicherungsstellung	
Abb. 26: Einspritzpumpenregler-Schema - Normalstellung	
Abb. 27: Wirkungsweise des Verstärkers bei Anreicherung	
Abb. 28: Wirkungsweise des Verstärkers bei gezogenem Stopzug	
Abb. 29: Einspritzpumpenregler-Schema - Stopstellung	
Abb. 30: Einspritzpumpenregler-Schema - Stopstellung bei eingeschaltetem Hubmagneten	
Abb. 31: Schematische Darstellung der Gemischregelung	

I. Einspritzpumpe

Neben dem bekannten Vergasermotor findet in der deutschen Luftfahrt eine andere Bauart des Otto-Motors Verwendung, der Einspritzmotor. Bei diesem Motor wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch nicht in einem Vergaser, sondern unmittelbar in den Zylindern gebildet. Der Kraftstoff wird zu diesem Zweck in genau abgemessener Menge mit Hilfe einer besonderen Pumpe durch Zerstäuberdüsen in die Zylinder eingespritzt, ähnlich wie beim Dieselmotor. Während aber beim Dieselmotor der Kraftstoff im Augenblick der höchsten Verdichtung, also am Ende des Verdichtungshubes, in den Zylinder gepreßt wird und durch den hohen Verdichtungs-Enddruck zur Selbstentzündung gelangt, wird der Kraftstoff beim Einspritz-Otto-Motor bereits während des Ansaugtaktes in den Verbrennungsraum eingespritzt und die Verbrennung durch Fremdzündung (Zündkerze) hervorgerufen. Während des Verdichtungshubes mischt sich der fein zerstäubte Kraftstoff mit der Ladeluft zu einem leicht entzündbaren Gemisch.

Der Einspritzmotor weist dem Vergasermotor gegenüber eine Reihe von Vorteilen auf:

Die Gefahr des Vergaserbrandes und die Vereisungsgefahr fallen weg.

Durch entsprechende Einstellung der jedem Zylinder zugeordneten Pumpe ist es möglich; die Kraftstoffmenge der jeweiligen Luftfüllung der Zylinder anzupassen. Dadurch kann ein in allen Zylindern gleiches Mischungsverhältnis erreicht werden. Es ist jedoch auch möglich, für einen bestimmten Zylinder ein reicheres Gemisch einzustellen, z. B. am Sternmotor für den Zylinder mit dem Hauptpleuel wegen der stärkeren Erwärmung.

Die zu fördernde Kraftstoffmenge kann während des Betriebes in weiteren Grenzen als beim Vergasermotor verändert werden.

Auch bei den mit der Höhe veränderlichen Betriebsbedingungen ist eine gleichmäßige Gemischbildung zu erreichen.

Der Kraftstoff wird durch Düsen unter hohem Druck zerstäubt. Daher hat die Qualität des Kraftstoffes weniger Einfluß auf die Leistung des Motors als bei Vergaserbetrieb.

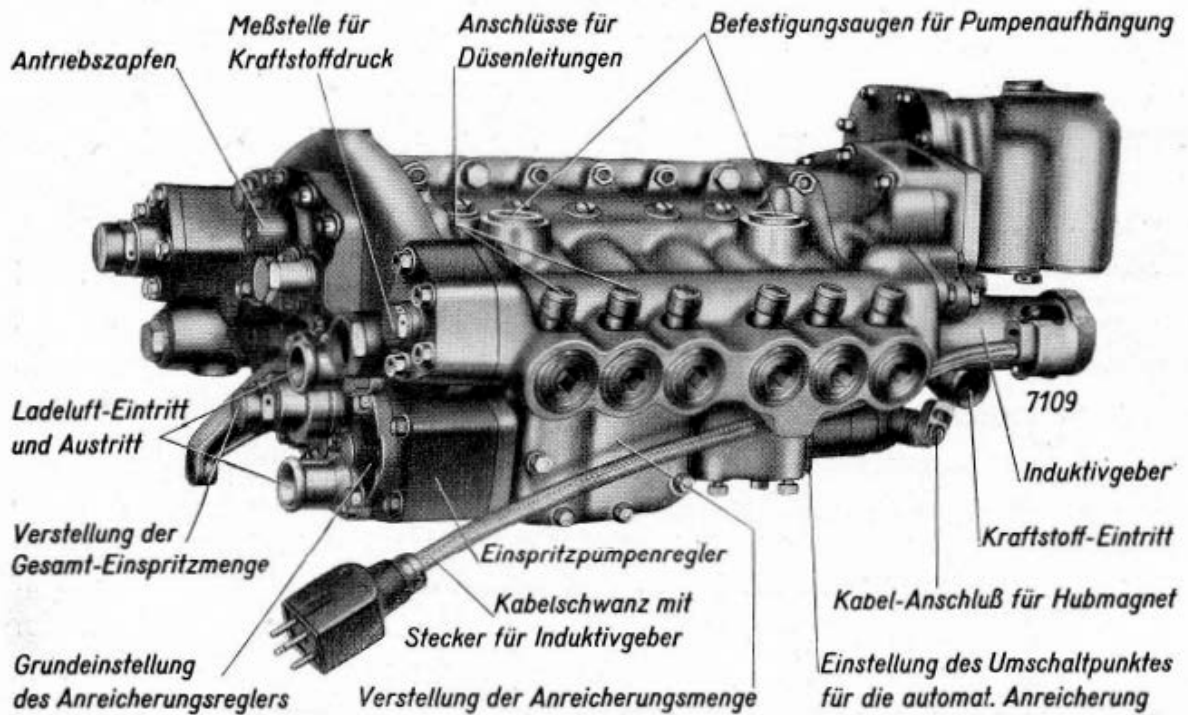


Abb. 1: Außenansicht des Einspritzgerätes - Antriebsseite

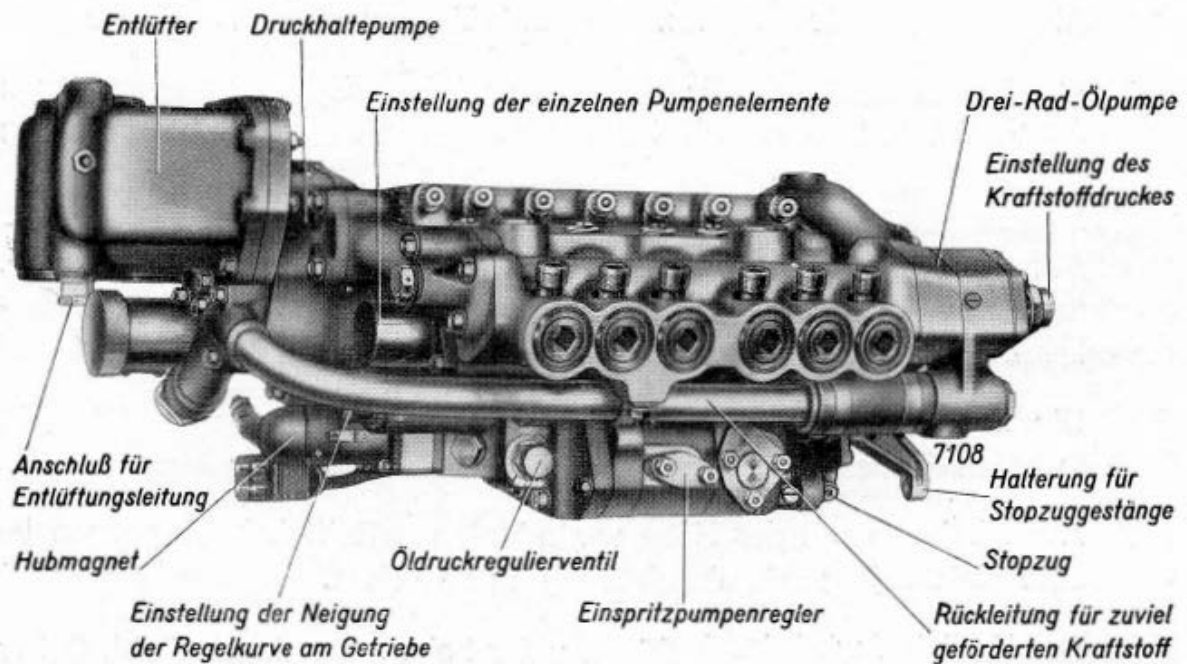


Abb. 2: Außenansicht des Einspritzgerätes - Entlüfterseite

Die Einspritzanlage JUMO 2021 A-3 ist in die Motorenbaumuster JUMO 211 F und J, Baureihe 1 und die Einspritzanlage JUMO 2021 E-1 in die Baureihe 2 des gleichen Motorenmodells eingebaut. Sie stellt eine Weiterentwicklung der in der D.(Luft)T.3855 beschriebenen Einspritzanlage JUMO 2009 D-1 dar. Neben konstruktiven Verbesserungen im Aufbau des Pumpenelementes und bei der Beseitigung des Zahnspeiles der Regulierstangen ist vor allem die Einschaltung einer zusätzlichen Druckhaltepumpe (nur bei JUMO 211 F und J, Baureihe 1) in den Kraftstoffweg zwischen Förderpumpe und Einspritzpumpe bemerkenswert.

Ansicht von Motoroberseite

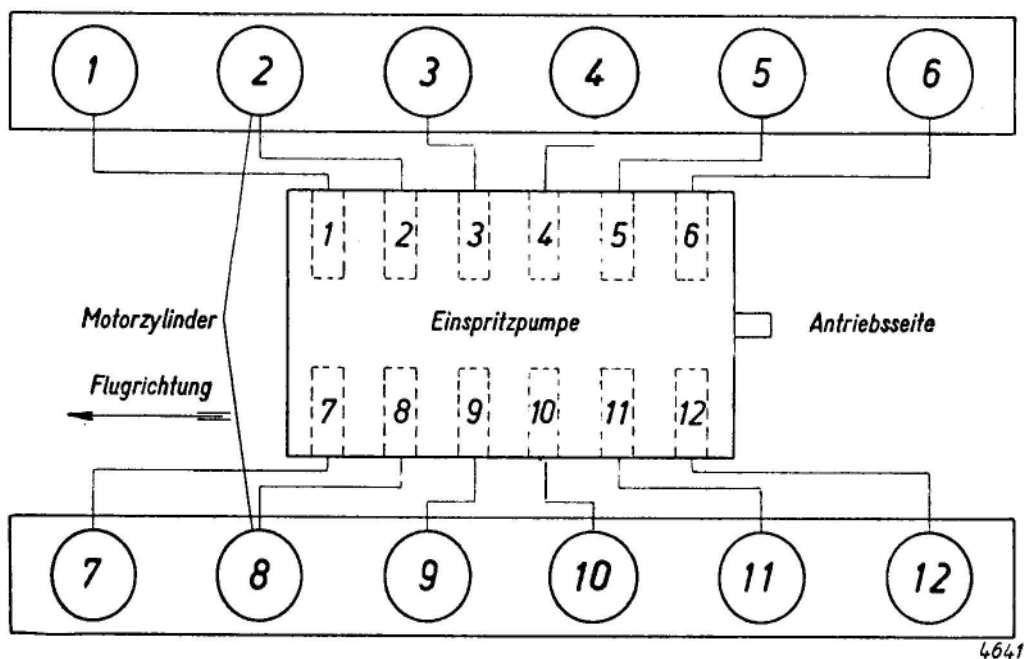


Abb. 3: Lage der 12 Einzel-Einspritzpumpen und Motorzylinder

Neu ist außerdem der Entlüfter. Er arbeitet im Gegensatz zur früheren Ausführung nach dem Rotationsprinzip. Der Kraftstoff wird in starke Kreisbewegung versetzt. Durch Fliehkraftwirkung wird die Luft vom Kraftstoff geschieden.

Grundsätzlich anders als bei der Einspritzanlage JUMO 2009 D-1 ist die Regelung der Gemischüberfettung. Während die Einspritzanlage für die Motoren JUMO 211 B/D und G/H nur eine willkürliche, elektromagnetische Anreicherungs-Einrichtung besitzt, ist das Gerät 2021 A-3 bzw. E-1 außerdem mit einer vom Ladedruck gesteuerten, automatischen Anreicherungs-Einrichtung ausgerüstet. Diese zwangsläufige Schaltung war notwendig, um bei hoher Leistungsabgabe eine Gefährdung des Motors mit Sicherheit auszuschließen.

Der Einspritzbeginn der Pumpe für JUMO 211 F/J ist auf 30° nach Ansaugtotpunkt vorverlegt. Das Einspritzende wechselt mit der Motorbelastung bzw. der einzuspritzenden Kraftstoffmenge.

Die Einspritzanlage JUMO 2021 A-3 und E-1 gliedert sich in

Einspritzpumpe,
Einspritzpumpenregler,
Anreicherungs-Einrichtung,
Stop-Einrichtung,
Regelgetriebe,
Druckhaltepumpe (nur bei 2021 A-3 in JUMO 211 F und J, Baureihe 1,
fällt bei 2021 E-1 in JUMO 211 F und J, Baureihe 2, fort.) Kraftstoff-Entlüfter,
Induktivgeber für Verbrauchsmeßgerät sowie
Düsenleitungen und Einspritzdüsen.

A. Aufbau und Arbeitsweise

Die Einspritzpumpe wird als 12-Zylinder-Doppelreihen-Blockpumpe mit hängenden Zylindern gebaut (Abb. 1 und 2). In zwei gegenüberliegenden Reihen sind je sechs Pumpenelemente angeordnet, zwischen denen eine Nockenwelle gelagert ist. Die Einspritzpumpe wird angetrieben vom Apparateteil des Motors über eine Antriebswelle, die mit dem kerbverzahnten Antriebszapfen der Nockenwelle gekuppelt ist. Die für beide Zylinderblöcke gemeinsame Nockenwelle betätigt die einzelnen Pumpenstempel, von denen jeweils die beiden gegenüberliegenden von einem Nocken gesteuert werden. Die Reihenfolge der zwölf Einzelpumpen richtet sich nach der Anordnung der Arbeitszylinder des Motors. Pumpe 1 beliefert Motorzylinder 1 usw. (Abb. 3).

Jeder Motorzylinder wird von einem besonderen Pumpenelement versorgt, dessen Fördermenge genau abgestimmt werden kann. Dadurch ist die Gewähr gegeben, daß der Motor in sämtlichen Zylindern stets eine gleichmäßige Zusammensetzung des Kraftstoff-Luft-Gemisches aufweist. Das bedeutet, daß der Motor in allen Fluglagen mit dem geringsten Aufwand an Kraftstoff die jeweils höchste Leistung erzielt.

Die Pumpenstempel der einzelnen Pumpenelemente drücken die vom Einspritzpumpenregler bestimmte Kraftstoffmenge über Rückschlagventile, Düsenleitungen und Düsen in die Arbeitszylinder des Motors.

Die Pumpenstempel haben immer den gleichen unveränderlichen Hub, der durch die Höhe des Nockens gegeben ist. Der Wechsel in der Einspritzmenge wird nur durch Verdrehen der Pumpenstempel erzielt, die dabei ähnlich wie Steuerschieber wirken. Das Verdrehen der Pumpenstempel besorgt der Regler mit Hilfe des Regelgetriebes.

1. Aufbau eines Pumpenelementes

Jedes einzelne Pumpenelement (Abb. 13) besteht aus einer Laufbüchse und dem mit Feinstpassung darin gleitenden Pumpenstempel. Ein im Pumpengehäuse hin und her eilender Schieber mit der Nockenrolle überträgt den Nockenhub auf den Pumpenstempel. Der Schieber wird durch eine Führungsschraube gegen Verdrehen gesichert.

In den Schieber ragt der Pumpenstempel, dessen Fuß in den unteren Federteller eingeschoben ist und gegen die Stempelplatte anliegt. Die Stempelplatte wird in verschiedenen Dicken hergestellt, so daß durch Auswahl bei der Montage unzulässige Toleranzen des Stempelvorbubes ausgeglichen werden können.

Eine Schraubenfeder drückt den Pumpenstempel nach Beendigung des Förderhubes in seine innere Totpunktlage zurück. Da die Schraubenfeder der Verdrehung des Pumpenstempels einen gewissen Widerstand entgegensetzt, ist der Stempelfuß ballig ausgebildet. Die Punktaufgabe setzt die Reibungskräfte auf ein Mindestmaß herab.

Die Stempelführung mit dem Doppelzahnkranz ist auf dem Laufbüchsen-Unterteil gelagert. Die Verdrehung des Pumpenstempels erfolgt von der Regulierstange über Doppelzahnkranz, Stempelführung und Mitnehmer, der in dem Führungsschlitz der Stempelführung gleitet.

Die Laufbüchse ist vom Pumpenventil (doppeltwirkendes Rückschlagventil) abgeschlossen. An das Pumpenventil schließt sich die Düsenleitung an, die in der Einspritzdüse endet.

Die Schmierung des Pumpenstempels ist im Abschnitt 1 C, Schmierstoffversorgung, beschrieben und aus Abb. 13 ersichtlich.

Erklärung des Pumpenstempels

In die Laufbüchse ist die Eintrittsbohrung „A“ eingebohrt, durch welche der Kraftstoff in den Pumpenzylinder gelangt (Abb. 4). Der Pumpenstempel besitzt einen Steuerkopf, der auf der Außenseite durch die ebene Stirnfläche - Steuerkante „a“ - und nach innen durch eine schraubenlinienförmig ausgebildete Einfräsung - Steuerkante „b“ - begrenzt wird. Die beiden sich gegenüberliegenden Rückströmnuten und die Rückströmbohrung „C“

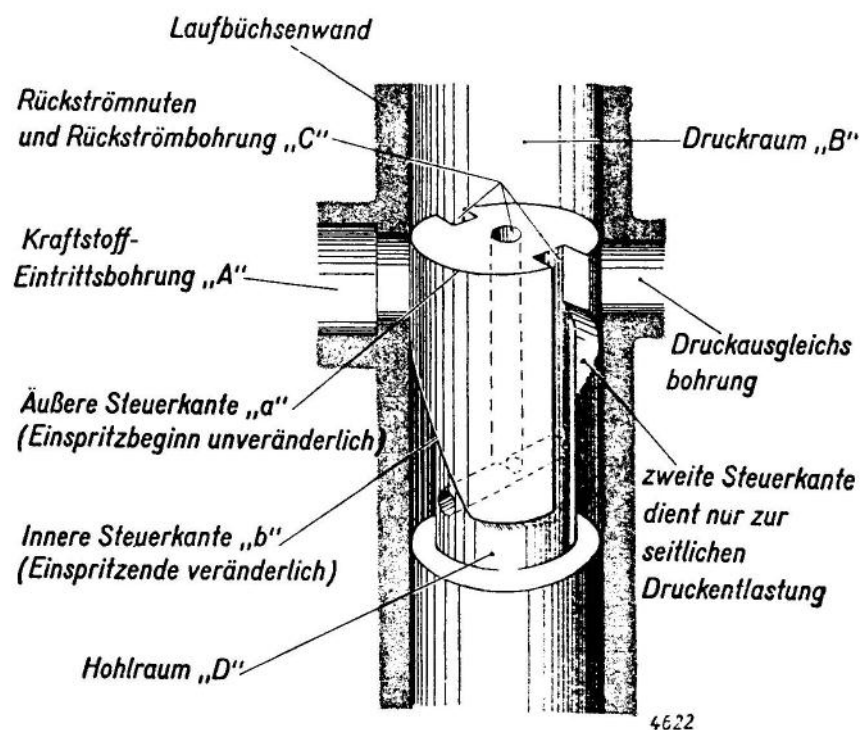


Abb. 4: Der Pumpenstempel-Steuerkopf

im Steuerkopf des Pumpenstempels stellen die Verbindung zwischen Druckraum „B“ und Hohlraum „D“ dar und haben die Aufgabe, das Einspritzende zu steuern und nach Beendigung des Nutzhubes (Einspritz-Ende) eine schnelle Entlastung des Druckraumes „B“ herbeizuführen. Zur Vergrößerung des Zu- und Abflußquerschnittes und zur besseren Gestaltung des Druckaufbaues ist gegenüber der Eintrittsbohrung „A“ in der Laufbüchse eine zweite Bohrung vorgesehen. Ebenso ist in den Steuerkopf des Pumpenstempels eine zweite, der Steuerkante „b“ gegenüberliegende, schraubenlinienförmige Einfräsung eingeschnitten. Die zweite Bohrung in der Laufbüchse ist so groß gehalten, daß die auf der Steuerseite gegebenen Steuerpunkte nicht beeinflusst werden. Durch die zweite

Steuerkante wird erreicht, daß der Kraftstoffdruck von zwei Seiten auf den Pumpenstempel wirkt, wodurch ein Kippen und somit ein vorzeitiger Verschleiß desselben vermieden wird.

2. Wirkungsweise eines Pumpenelementes

Bei der inneren Totpunktlage des Pumpenstempels füllt sich über die Eintrittsbohrung „A“ der Pumpendruckraum „B“ mit Kraftstoff (Abb.14). Beim Auswärtsgehen des Pumpenstempels wird nach einem Weg von 2 mm die Bohrung „A“ von der Steuerkante „a“ geschlossen. Der Vorhub ist beendet und der Einspritzbeginn eingeleitet, d. h. das Pumpenventil wird von dem Druck des Kraftstoffes geöffnet, und der Kraftstoff gelangt über Düsenleitung und Einspritzdüse in den Motorzylinder. Im weiteren Auswärtsgehen überschneidet die Steuerkante „b“ die Bohrung „A“. Dadurch kann der im Hohlraum „D“ stehende Kraftstoff über die Bohrung „A“ abfließen. Zwischen Druckraum „B“ und Hohlraum „D“ tritt ein Druckausgleich ein, der das Einspritzende bedeutet. Das Pumpenventil schließt. Der Weg des Pumpenstempels vom Einspritzbeginn bis zum Einspritzende wird mit Nutzhub bezeichnet. Bis zur äußeren Totpunktlage des Pumpenstempels - während des Nachhubes - wird der über dem Pumpenstempel liegende Druckraum „B“ über Rückströmnuten und Rückströmbohrungen sowie Hohlraum „D“ zur Eintrittsbohrung „A“ entlastet.

Bewegt sich der Stempel in der entgegengesetzten Richtung (zum inneren Totpunkt), füllt sich bei offener Bohrung „A“ der Druckraum „B“ wieder für den nächsten Arbeitsgang.

3. Veränderung der Einspritzmenge

Die Veränderung der Einspritzmenge in den einzelnen Pumpenelementen wird durch die Verdrehung der Pumpenstempel erzielt. Durch diese Verdrehung wird der Nutzhub größer oder kleiner, denn das Einspritzende tritt dadurch später oder früher ein.

Die sechs Pumpenstempel jeder Reihe sind untereinander über die Doppelzahnkränze und die beiden Regulierstangen (Abb. 5) gekuppelt und werden bei Verschiebung dieser Stangen darum auch gleichmäßig verdreht. Das Zahnspiel der Regulierstangen würde kleine Unterschiede in der Einspritzmenge für die einzelnen Pumpenelemente verursachen. Darum wurde das Übertragungsrad in zwei Zahnkränze aufgeteilt, die durch eine Verdrehfeder gegeneinander verspannt sind.

Damit für jedes einzelne Pumpenelement die Einstellung auf gleiche Einspritzmenge von außen durchgeführt werden kann, ist die Regulierstange in einzelne Glieder (Hohlspindeln) unterteilt. Es kann damit z. B. das Pumpenelement 1 durch den Kerbzahnbolzen, das Pumpenelement 2 durch die Kerbzahnbüchse und das Pumpenelement 3 durch Kerbzahnrädchen mit Gewindespindel nachreguliert werden.

Die Justierung der einzelnen Stempel untereinander erfolgt bei Stellung 27,5 mm der Zahnstange am Zylinder 1 (Eichmaß).

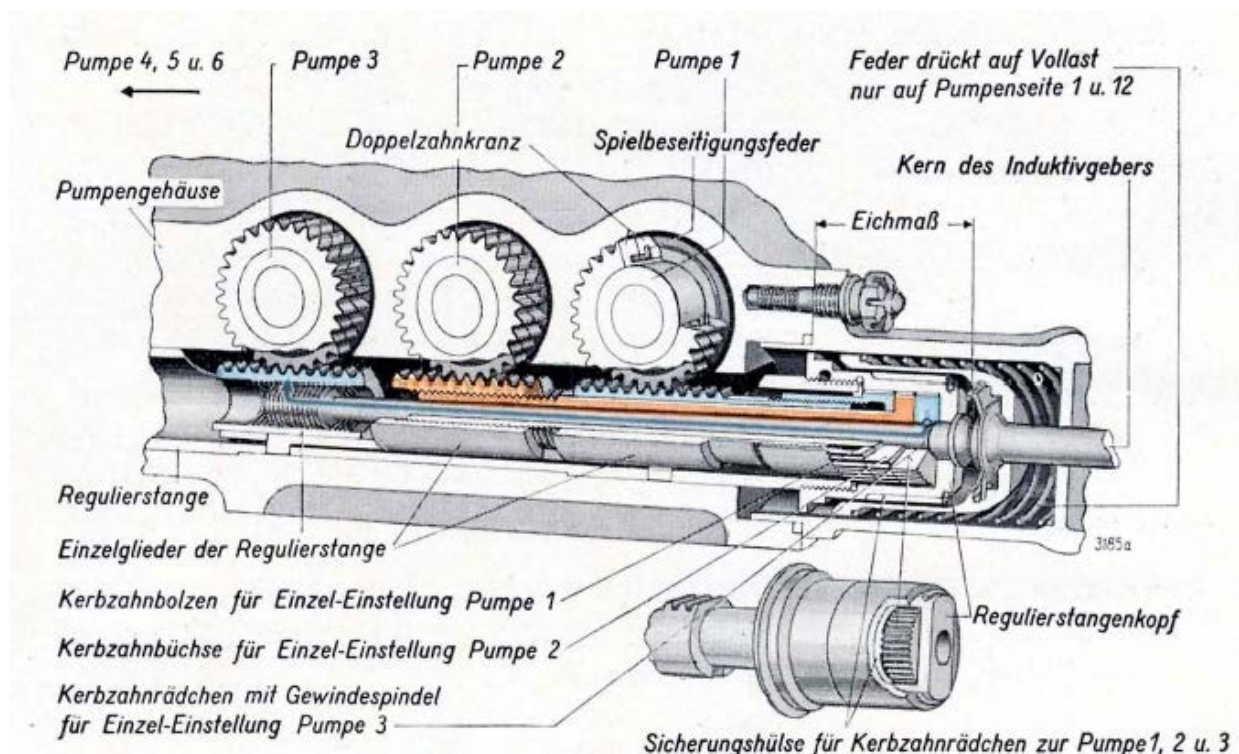


Abb. 5: Regulierstange mit Einzel-Einstellung

Diese Reguliereinrichtung ist am Regulierstangenkopf durch eine Kappe gegen axiales Verschieben und durch eine Hülse gegen Verdrehen gesichert.

Um das Spiel im Regelgetriebe auszuschalten, sind am Regulierstangenkopf auf Pumpenseite 1 und 12 besondere Druckfedern angeordnet, welche die Regulierstangen in Richtung Vollgas drücken. Für die Grundeinstellung der Regulierstangen beim Zusammenbau des Gerätes ist ein Eichmaß von 27,5 mm festgelegt, das von Abschlagkante Pumpengehäuse bis zum Druckstück für den Induktivgeber gerechnet wird.

B. Der Kraftstoffweg

Der Kraftstoff gelangt vom Vorratsbehälter in der Zelle über zwei Saugleitungen und Filter-Brandhahn-Armaturen zu einer besonderen Junkers-Kraftstoff-Förderpumpe, die aber im Gegensatz zur Einspritzanlage für JUMO 211 B/D und G/H nur als Zubringerpumpe dient. Der Druckregler der Kraftstoff-Förderpumpe ist mit einer schwachen Reglerfeder ausgerüstet für einen Kraftstoffdruck von etwa 0,3 atü. Diese Pumpe fördert den Kraftstoff weiter zur Druckhaltepumpe (beachte die Anmerkung zu diesem Abschnitt!) an der Einspritzpumpe. Die Druckhaltepumpe ist eine einfache Zahnradpumpe, die nur die Aufgabe erfüllt, den Druck des Kraftstoffes auf die erforderliche Höhe von 1,2 bis 1,5 atü zu steigern. Damit wird erreicht, daß hochbelastete Druckleitungen, die besonders bruchgefährdet sind, vermieden werden konnten. Außerdem ist die Leckbildung bei Leitungen mit schwachem Druck wesentlich geringer, was die Brandgefahr für den Motor herabsetzt.

Die Druckhaltepumpe drückt den Kraftstoff über ein Filter in den Entlüfter, wo die mitgerissene Luft vom Kraftstoff geschieden wird. Der reine Kraftstoff fließt vom Entlüfter in das Ringkanal-System der Einspritzpumpe. Der in die Einspritzpumpe zu viel geförderte Kraftstoff fließt über das Druckregelventil auf die Saugseite der Druckhaltepumpe zurück (Abb. 17).

Überströmventile in Förderpumpe und Druckhaltepumpe gestatten bei stillstehendem Motor das Vollpumpen des gesamten Kraftstoff-Kreislaufes mit Hilfe der Handpumpen an den beiden Filter-Brandhahn-Armaturen.

Anmerkung

Im Flugbetrieb hat sich gezeigt, daß die Druckhaltepumpe in der Einspritzpumpe häufig die Ursache für Störungen an der Einspritzpumpe ist. Daher werden die Motoren JUMO 211 F/J, Baureihe 2 mit Einspritzpumpen **ohne** Druckhaltepumpe ausgerüstet, so daß der Kraftstoff wie bei der Einspritzanlage für JUMO 211 B/D und G/H bereits von der besonderen Kraftstoff-Förderpumpe auf den erforderlichen Druck von 1,2 bis 1,5 atü gebracht wird. Eine Druckleitung führt den Kraftstoff über Filter und Entlüfter in die Einspritzpumpe (Abb. 18).

C. Schmierstoffversorgung

Als Schmierstoff wird Drucköl aus dem Schmierkreislauf des Motors verwendet. Eine 3-Rad-Zahnradpumpe (Abb. 19), die von der Nockenwelle der Einspritzpumpe angetrieben wird, fördert mit einem Räderpaar reinen Schmierstoff und drückt ihn in zwei Längsbohrungen im Gehäuse der Einspritzpumpe und weiter zu den Schmierstellen der Druckhaltepumpe und in die Ringkanäle im Pumpengehäuse. Bei dem Nutzhub eines Pumpenstempels wird der Ringkanal im Gehäuse von der Schmierstoffnut des Stempels unterschritten, so daß Schmierstoff vom Ringkanal zur Schmierstoffnut überströmt. Dieser Schmierstoff dient nicht nur zur Schmierung der Pumpenstempel, sondern bildet gleichzeitig eine Lecksperre, d. h. er verhindert den Übertritt von Leckkraftstoff aus dem Hohlraum „D“ über die Stempelgleitfläche in das Pumpengehäuse (Abb. 13).

Bei dem Nutzhub eines Pumpenstempels entsteht im Hohlraum „B“ ein sehr hoher Kraftstoffdruck. Ein kleiner Teil dieses Druckes geht an dem Pumpenstempel vorbei. Der durch den Lappspalt zwischen Pumpenstempel und Laufbüchse übertretende Kraftstoff wird von der Entlastungsnut in der Laufbüchse abgefangen. Beim Zurückgehen des Pumpenstempels wird der Überdruck in der Nute durch den Hohlraum „D“ entlastet.

Ein Übertritt des Kraftstoffes in den Schmierstoff ist infolge des höheren Druckes im Schmierstoff-Ringkanal (mind. 3,5 atü) gegenüber dem Kraftstoffdruck im Hohlraum „D“ und in der Entlastungsnut (höchstens 1,5 atü) nicht möglich. Ein Übertritt von geringen Mengen Schmierstoff in den Kraftstoff ist erträglich und beeinträchtigt den Verbrennungsvorgang im Motorzylinder nicht.

Eindringen von Kraftstoff in die Schmierstoff-Druckleitung bei Störungen an der 3-Rad-Zahnradpumpe wird durch den Einbau eines Rückschlagventiles in die Schmierstoff-Druckleitung verhindert.

Die 3-Rad-Zahnradpumpe ist eine doppelwirkende Drucköl-Förderpumpe. Das linke Zahnradpaar (auf Pumpen-Antriebsseite gesehen) fördert das Drucköl zur Schmierung und Abdichtung der Pumpenstempel, zur Schmierung der Druckhaltepumpe und zur Schmierung der Wellenlagerungen.

Dagegen fördert die andere Seite das zur Betätigung des Reglers einschließlich der Anreicherungs-Einrichtung erforderliche Arbeitsöl. Um eine einwandfreie Steuerung des Flügels der Drehkolbenwelle im Verstärker sicherzustellen, wird von diesem Zahnradpaar dem Arbeitsöl Luft zugeführt, die gleichzeitig mit dem Lecköl vom Stopzug angesaugt wird.

Das Arbeitsöl teilt sich in 3 Wege. Der erste Weg führt das Öl zum Drucköl-Ringkanal des Steuerschiebers im Hauptregler, der das Öl entsprechend seiner Stellung zu den Ölbohrungen in der Drehkolbenwelle steuert. Auf dem zweiten Wege gelangt das Arbeitsöl zum Steuerschieber der Anreicherungs-Einrichtung, der das Öl auf die eine oder die andere Seite des Verstärkerkolbens leitet.

Auf dem dritten Wege strömt das Öl zur Anreicherungssteuerung, dessen Ölschieber bei Anreicherung dem Öl den Durchfluß zum Anreicherungskolben freigibt. Bei gezogenem Stopzug kann das Öl vom Anreicherungskolben zum Nockenwellenraum abfließen.

Zur Druckregulierung des Arbeitsöles sowie zur Durchflußregelung bei Ruhezustand der Regelorgane ist ein Kurzschlußkanal zum Nockenwellenraum vorhanden mit zwischengeschaltetem Überdruckventil. Der am Überdruckventil eingestellte Druck soll bei einer Schmierstoff-Temperatur von 60 bis 70° C bei Leerlauf nicht unter 3,5 atü und bei Vollgas nicht über 8 atü liegen. Zur Prüfung des Druckes ist ein besonderer Druckmeß-Anschluß vorgesehen.

Das Aböl von der Anreicherungs-Einrichtung vereint sich mit dem Aböl des Verstärkers im Hauptregler in einem zweiten Ringkanal am Steuerschieber des Hauptreglers und tritt über eine Gehäusebohrung in den Nockenwellenraum der Einspritzpumpe, wo es sämtliche gleitenden Teile schmirt. Aus dem Nockenwellenraum wird das Aböl in den Schmierkreislauf des Motors zurückgeführt.

11. Einspritzpumpenregler

Zur vollautomatischen Bemessung der Kraftstoffmenge im richtigen Verhältnis zu dem Luftgewicht, das den Zylindern des Motors zur Verbrennung zugeführt wird, dient der Einspritzpumpenregler (Abb. 6).

Der Regler besteht aus dem **Geber** und dem **Verstärker**. Die automatische Anreicherungs-Einrichtung sowie die Stop-Einrichtung sind räumlich und sinngemäß mit dem Regler vereinigt. Alle Regelorgane sind in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht, das der Einspritzpumpe angebaut wird und niemals ausgewechselt werden darf. Bei Störungen im Regler muß die gesamte Einspritzanlage gewechselt werden.

1. Der Geber

Das dem Motor zugeführte Luftgewicht ist bei wechselnder Flughöhe verschieden, denn es ist abhängig vom Druck und von der Temperatur der Luft. Die Menge der Frischluft, die in die Zylinder gelangt, ist also bestimmt durch:

1. den Druck der Ladeluft,
2. die Temperatur der Ladeluft und
3. den atmosphärischen Luftdruck, der je nach Flughöhe verschieden ist.

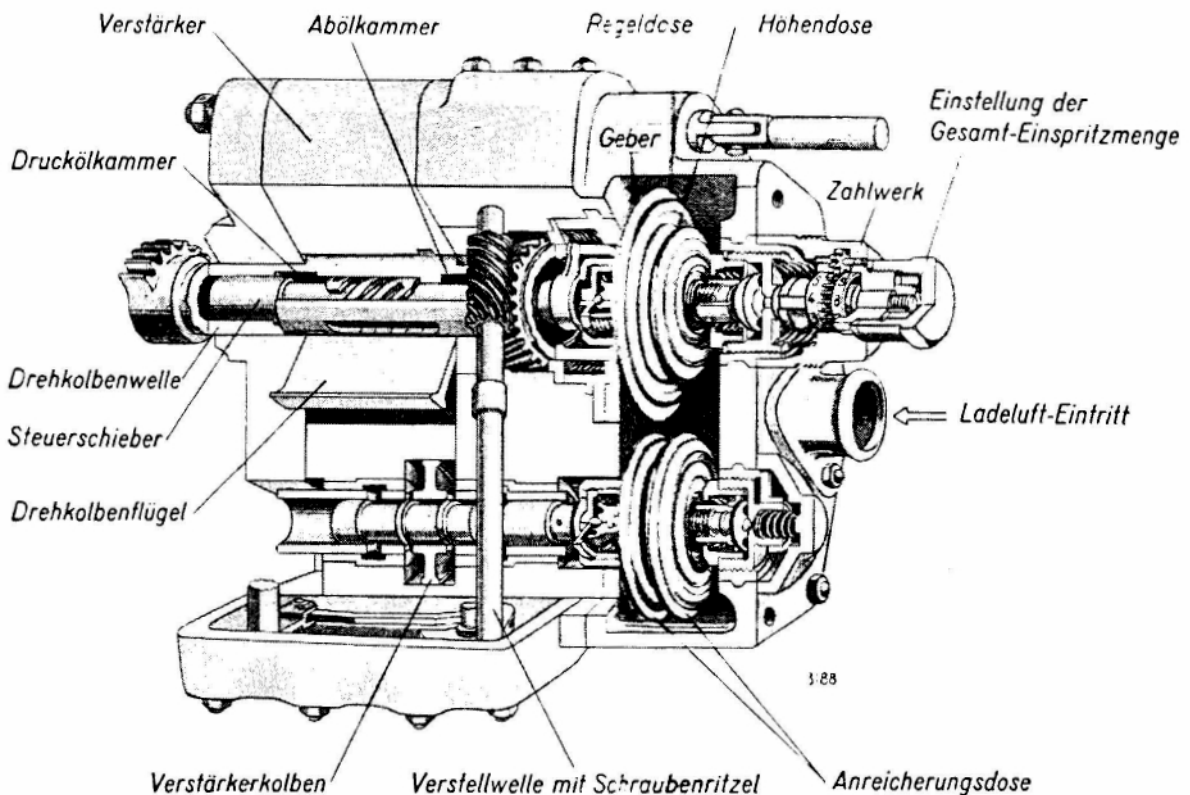


Abb. 6: Der Einspritzpumpen-Regler

Kraftstoff und Luftmenge müssen in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen, um günstigste Verbrennung zu erzielen. Daher ist die einzuspritzende Kraftstoffmenge von den genannten drei Größen abhängig. Der Geber mißt diese Werte, um sie als Steuerungsbefehle an den Verstärker weiterzugeben.

Der Geber löst die Aufgabe mit Hilfe barometrischer Dosen (Abb. 20). Die eine Dose (Regeldose) ist ein runder, flacher Hohlkörper aus dünn-

wandigem Blech, der fast luftleer gepumpt und luftdicht verlötet ist. Die Dose ist für die Zustandsänderungen der sie umspülenden Ladeluft empfindlich, d. h. Temperaturschwankungen und Druckveränderungen dehnen die Dose mehr oder weniger aus. Die Dose verändert also ihre Länge und verschiebt dadurch den mit ihr verbundenen Steuerschieber.

Die zweite Dose (Höhendose) ist ein ähnlicher Hohlkörper in kleineren Abmessungen. Sie hat den besonderen Zweck, den von der Flughöhe abhängigen Auspuffgedruck zu berücksichtigen. Mit anderen Worten:

In größeren Höhen sinkt der Außenluftdruck. Die Abgase entweichen wegen des geringeren Luftwiderstandes schneller, der Gasrückstand im Zylinder ist kleiner, die einströmende Frischluftmenge vergrößert sich entsprechend. Im gleichen Verhältnis muß die Kraftstoffmenge größer werden, wenn das Gemisch nicht zu arm sein soll.

Die Höhendose sorgt nun für ein gleichbleibendes Mischungsverhältnis in allen Flughöhen. Sie ist mit der Regeldose mechanisch verbunden und im Reglergehäuse aufgehängt. Im Gegensatz zur Regeldose herrscht in ihrem Innern atmosphärischer Luftdruck, denn sie steht durch einen Kanal mit der Außenluft in Verbindung.

Kommt der Motor in größere Höhen, läßt der Druck in ihrem Innern nach. Der beide Dosen umspülende Ladeluftdruck drückt die Höhendose zusammen. Der Steuerschieber wird unabhängig von der Regeldose um einen geringen Betrag aus der Drehkolbenwelle gezogen. Dadurch verändert sich der Ölfluß in der Drehkolbenwelle, so daß bei allen Stellungen des Flügels der Drehkolbenwelle eine entsprechend größere Kraftstoffmenge eingespritzt wird.

Die barometrischen Dosen sind der empfindlichste Teil des Einspritzgerätes und müssen vor jeder mechanischen Beschädigung bewahrt werden. Rückwärtslaufen der Motoren beim Abstellen durch sachgemäße Behandlung vermeiden!

Um die Erschütterungen des Motors von den Dosen fernzuhalten, ist eine schwingungsdämpfende Aufhängung gewählt worden. Das Gebergehäuse ist aus Bakelit gefertigt (wärme-isolierend), so daß die Temperatur der Ladeluft im Innern des Gebergehäuses keine Veränderung durch Ausstrahlung sowie keine Erwärmung von dem heißen Öl im Verstärker erfährt.

Die Dosen sind auf der einen Seite im Gebergehäuse gelagert. Diese Lagerung kann mit Hilfe eines Stellorgans von Hand längs verschoben werden, zwecks Einregulierung der Dosen auf dem Prüfstand. Auf der anderen Seite sind sie mit dem Steuerschieber des Verstärkers verbunden (Abb. 6).

2. Der Verstärker

Die Längenänderungen der Dose betragen nur einige Millimeter. Dieser geringe Weg sowie die von den Dosen abgegebene geringe Kraft würde für die Verdrehung der Pumpenstempel nicht ausreichen (Verdrehung der Pumpenstempel verändert die Einspritzmenge). Die schwachen Steuerungsbefehle, die von den Dosen ausgehen, müssen also verstärkt werden, wenn sie mechanisch wirksam werden sollen.

Als Verstärker arbeitet eine Drehkolbenwelle in Verbindung mit einem Steuerschieber (Abb. 20).

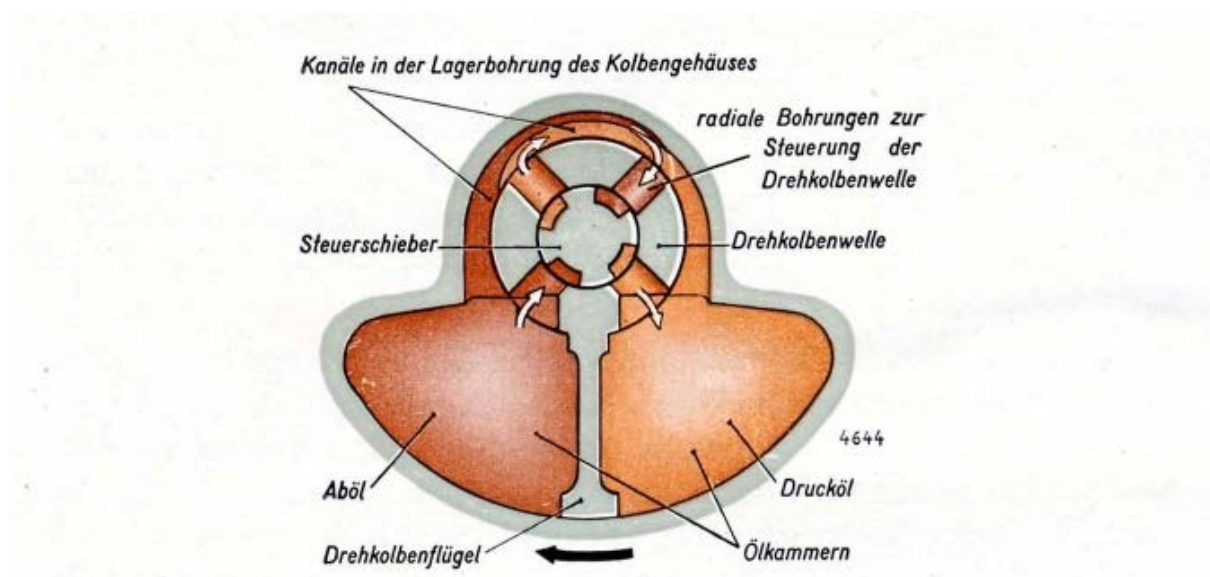


Abb. 7: Schnitt durch den Verstärker

Der Weg der Dosen wird zum Weg des mit ihnen verbundenen Steuerschiebers, der drehbar und längsverschiebbar in der Bohrung der Drehkolbenwelle gelagert ist, die ihrerseits vom Reglergehäuse umschlossen ist. Die Drehkolbenwelle besitzt einen eingeneteten Flügel, der einen Hohlraum des Gehäuses in zwei Ölkammern unterteilt. Dieser Hohlraum stellt sich im Querschnitt als Kreisausschnitt dar, dessen Bogen einen Winkel von etwa 150° umspannt (Abb. 7). Der Flügel kann in diesem Hohlraum durch Drucköl gedreht werden. Durch die starre Verbindung von Flügel und Drehkolbenwelle muß diese der Bewegung des Flügels folgen. Sie dreht sich um ihre Achse und arbeitet mit ihrem verzahnten Ende auf das Regelgetriebe, welches über die Regulierstangen die Pumpenstempel verdreht.

Zu- und Ablauf des Drucköles der Ölkammern bestimmt der Steuerschieber, Zu jedem Ladeluft-Zustand (abhängig von Druck und Temperatur) gehört eine eindeutige Länge der Regeldosen und somit eine ganz bestimmte Stellung des Steuerschiebers in der Drehkolbenwelle.

3. Wirkungsweise

Das zulaufende Öl (Drucköl aus dem Schmierkreislauf des Motors) wird in einer besonderen 3-Rad-Zahnradpumpe auf der Antriebsseite der Einspritzpumpe mit Luft vermischt, so daß es elastisch arbeitet und ruckartige Steuerbewegungen ausgeschlossen sind (Abb. 19).

Das Öl tritt durch radiale Bohrungen in eine Ausdrehung der Drehkolbenwelle. Hier stellt sich ihm der Steuerschieber in den Weg. In die Gleitfläche des Steuerschiebers sind vier schraubenförmige Nuten eingeschnitten. Zwei Nuten verlaufen von links nach rechts und stehen mit dem Drucköl-Zulauf in Verbindung, die beiden anderen verlaufen entgegengesetzt und führen Aböl. Auf diese Nuten treffen vier in einer Ebene angeordnete radiale Bohrungen in der Drehkolbenwelle. Die im Steuerschieber verbleibenden Stege besitzen eine Breite, die dem Durchmesser der radialen Bohrungen entspricht. Im Ruhezustand werden die Bohrungen von den Stegen verschlossen (Abb. 20), d. h. der Verstärker strebt immer diese Ruhelage an, sofern nicht eine Verlagerung durch Längs- bzw. Verdrehbewegung des Steuerschiebers eingeleitet wird.

Je zwei sich gegenüberliegende Steuerlöcher sind einer der beiden vom Flügelkolben gebildeten Ölkammern zugeordnet (Abb. 7). Ein Steuerloch am Fuße des Flügelkolbens führt direkt in die Ölkammer, während das zweite gegenüberliegende durch Freifräsung am äußeren Umfang der Drehkolbenwelle (Abb. 6) und über Ringkanäle in der Lagerbohrung des Kolbengehäuses (Abb. 7) mit der gleichen Ölkammer verbunden ist. Die beiden Steuerlochpaare werden vom Steuerschieber parallel gesteuert, so daß an sich auch nur je eines der beiden sich gegenüberliegenden Steuerlöcher für den Steuervorgang ausreichend wäre. Die Anordnung des zweiten Steuerloches liegt in der dadurch günstigeren Beherrschung der Reibungskräfte des Steuerschiebers in der Drehkolbenwelle begründet.

In den Abbildungen über Wirkungsweise des Verstärkers wurde mit Rücksicht auf eine einfache Darstellung des Steuervorgangs das zweite Steuerloch fortgelassen und die Drehkolbenwelle um etwa 180° nach oben verdreht.

Ändert sich die Länge der Dosen und wird dadurch der Steuerschieber in der Drehkolbenwelle verschoben, so geben die Bohrungen mehr oder weniger Querschnitt für den Öldurchfluß frei. Das Öl fließt also von der Ausfräsung der Drehkolbenwelle, wo sich das zulaufende Öl sammelt, durch zwei gleichgängige Nuten des Steuerschiebers und weiter durch die zugehörigen Bohrungen der Drehkolbenwelle in die rechte oder linke Ölkammer vor den Flügel und schwenkt diesen. Der Flügel macht eine entsprechende Drehbewegung und drückt das Öl aus der entlasteten Ölkammer durch zwei radiale Bohrungen der Drehkolbenwelle und durch die beiden zugehörigen Nuten des Steuerschiebers in eine zweite Ausfräsung der Drehkolbenwelle, von wo es über Bohrungen in der Drehkolbenwelle und über Kanäle im Gehäuse in den Nockenwellenraum der Einspritzpumpe fließt. Die Schwenkbewegung des Flügelkolbens (Drehkolbenwelle mit Flügel) werden vom Regelgetriebe auf die Regulierstangen übertragen und bewirken die Verdrehung der Pumpenstempel und damit die Veränderung der Einspritzmenge.

In den Abbildungen 21 und 22 ist die Wirkungsweise des Verstärkers bei automatischer Verstellung auf größere und kleinere Einspritzmenge dargestellt.

4. Die Anreicherungs-Einrichtung

Im Hinblick auf wirtschaftlichsten Kraftstoffverbrauch für große Reichweiten und Motorhöchstleistungen für Start, Kampf- und Steigleistung ist eine Gemischregelung in zwei Bereichen erforderlich. Durch den Einsatz der Arm-Reich-Schaltung in Verbindung mit einem vom Ladedruck gesteuerten besonderen Anreicherungsregler werden diese Forderungen erfüllt.

Stellung „Normal“

Die Sparflug-Gemischregelung „Normal“ erfolgt durch den Einspritzpumpen-Regler vollautomatisch, d. h. die eingespritzte Kraftstoffmenge steht immer in einem bestimmten Verhältnis zu dem zugeführten Luftgewicht. Der Flugzeugführer hat keinen Einfluß auf die „Normal“-Regulierung.

Stellung „Reich“

Um Höchstleistungen zu erreichen, muß der Motor mit angereichertem (überfettetem) Kraftstoffgemisch gefahren werden. Durch diese Überfettung

wird gleichzeitig eine Kühlwirkung (Innenkühlung!) für die Verbrennungsräume des Motors erzielt, die das Klopfen des Motors verhindert. Im Sinne einfacher Motorbedienung wird das Höchstleistungs-Gemisch durch einen besonderen Anreicherungsregler automatisch eingeschaltet, und zwar kurz vor der Steig- und Kampfleistung bei einem Ladedruck von etwa 1,2 ata.

Dem Flugzeugführer ist aber außerdem die Möglichkeit gegeben, willkürlich die Anreicherung einzuschalten, um bei Kampfleistung einen Leistungsgewinn des Motors zu erzielen, wenn über der Volldruckhöhe der Ladedruck so weit abgefallen ist, daß er zur Steuerung der Anreicherungs-Automatik nicht mehr ausreicht.

Die Anreicherungs menge ist dem zugeführten Luftgewicht gesetzmäßig zugeordnet und wird vom Anreicherungsregler bemessen. Ihr grundsätzlicher Verlauf ist aus Abb. 19 ersichtlich.

Die Neigung der Reichkurve ist im Gegensatz zur Einspritzanlage JUMO 2009 D-1 nicht mehr parallel zur Kurve der Normal-Einspritzmenge bestimmt (Abb. 23), sondern ist über den ganzen Bereich vom Ladedruck abhängig (Abb. 24). Mit anderen Worten: Die Anreicherungs menge ist nicht mehr gleichbleibend (bei der Einspritzanlage JUMO 2009 D-1 beträgt sie bei jedem Ladedruck etwa 50 mm^3 pro Hub), sondern steigt mit zunehmendem Ladedruck. Je höher der Ladedruck, desto größer ist die zusätzliche Einspritzmenge. Das hat den Vorteil, daß im niederen Ladedruckbereich nur so viel Kraftstoff mehr eingespritzt wird, wie zur Erreichung der zugeordneten Höchstleistung tatsächlich notwendig ist. Bei hohen Ladedrücken aber ist die Gewähr gegeben, daß die Überfettung des Gemisches im geforderten Verhältnis erzielt wird.

a) Die automatische Anreicherung

Im Aufbau ähnelt der Anreicherungsregler dem Hauptregler, mit dem er räumlich und organisch verbunden ist. Als Geber dient gleichfalls ein barometrisches Dosenpaar, dessen Steuerungsbefehle einem Verstärker zugeleitet werden, der mittels Öldruck über Anreicherungskolben und Verstellwelle den Steuerschieber in der Drehkolbenwelle verdreht, was über Regelgetriebe und Regulierstangen zu einer Verdrehung der Pumpenstempel im Sinne größerer Einspritzmenge führt (Abb. 21).

Die Anreicherungsdose besteht aus zwei gleichen, mechanisch verbundenen barometrischen Dosen, die von der Ladeluft umspült werden und nur auf den Druck der Ladeluft ansprechen. (Abb 6).

Durch die Längenänderungen der Dose bei Ladedruckanstieg oder -abfall wird ein fest mit der Dose verbundener Steuerschieber bewegt. Bei einem bestimmten Ladedruck (etwa 1,2 ata) wird der Steuerschieber so versetzt, daß die Stege des Schiebers die Bohrungen für den Zu- und Abfluß des Drucköles zum und vom Verstärkerkolben freigeben. Das Drucköl verschiebt den Verstärkerkolben (bei Anreicherung Richtung Anreicherungsdose), und zwar so lange, bis die Bohrungen wiederum von den Steuerkanten des Steuerschiebers verschlossen werden.

Die Bewegung des Kraftkolbens wird auf die Zugstange übertragen. Diese schiebt den Ölschieber der Anreicherungssteuerung (Abb. 25) gegen die Schraubenfeder vor, so daß die Entlastungsleitung zwischen Anreicherungssteuerung und Druckölaustritt gesperrt wird. Das Drucköl strömt nun gegen den Anreicherungskolben. Die dadurch erfolgende Verschiebung des Anreicherungskolbens bewirkt über Kugelhebel und Schraubenritzel der Verstellwelle die Verdrehung des Steuerschiebers in der Drehkolbenwelle.

Die von der Anreicherungsdose ausgelöste Bewegung des Verstärkerkolbens hat gleichzeitig eine Schwenkung der Hebelwelle zur Folge. Dadurch wird über Hebel und Hebelstange der Winkelhebel in eine bestimmte Stellung gebracht. Gegen die Steuerkurve dieses Winkelhebels schleppt der Mitnehmer der Verstellwelle, die vom Anreicherungskolben verdreht wird, den Fühlhebel und begrenzt damit für den zur Zeit herrschenden Ladedruck die Verdrehung der Verstellwelle und damit die Vergrößerung der Einspritzmenge.

Geht der Ladedruck unter den Wert von 1,2 ata zurück, längt sich die Anreicherungsdose wieder und drückt den Steuerschieber vor, dessen Steuerkanten die Ölbohrungen des Verstärkerkolbens derart öffnen, daß nun das Drucköl auf die entgegengesetzte Seite des Verstärkerkolbens strömt und diesen solange in Richtung Hebelwelle verschiebt, bis die Ölbohrungen wiederum von den Steuerstegen des Schiebers überdeckt werden. Hebelwelle und Zugstange kommen vom Anschlag frei und gehen in ihre Normalstellung zurück. Der Ölschieber der Anreicherungssteuerung wird von der Kraft der Schraubendruckfeder in seine Endlage gedrückt, so daß jetzt das Drucköl über die Entlastungsleitung zum Druckölaustritt abfließt (Abb. 26). Der Anreicherungskolben wird nun ebenfalls von der Druckfeder am Stößel in die Normalstellung zurückbewegt und verdreht dabei mittels des Kugelhebels die Verstellwelle im entgegengesetzten Sinne. Über Schraubenritzel und Schraubenrad geht diese Verdrehbewegung auf den Steuerschieber in der Drehkolbenwelle über, der durch die Umsteuerung des Drucköls eine Schwenkung des Flügelkolbens einleitet, die über Regel-

getriebe und Regulierstangen die Verdrehung der Pumpenstempel im Sinne der Verkleinerung der Einspritzmenge auf die Normal-Einspritzmenge bewirkt.

b) Die willkürliche Anreicherung

Bei abfallendem Ladedruck über der Volldruckhöhe (Ladedruck unter 1,2 ata bei voll geöffneter Luftdrossel) kann der Flugzeugführer zur Erzielung eines Leistungsgewinnes die Anreicherung willkürlich betätigen durch Einschaltung eines Hubmagneten. Dieser ist am Regler befestigt und wird durch einen Kippschalter im Führerraum des Flugzeuges unter Strom gesetzt. Der Hubmagnet drückt den Ölschieber der Anreicherungssteuerung gegen die Schraubenfeder in die Anreicherungsstellung, so daß die Entlastungsleitung zwischen Anreicherungssteuerung und Druckölaustritt gesperrt wird und das Drucköl zum Anreicherungskolben strömt (Abb. 25). Der Anreicherungskolben verdreht die Verstellwelle und damit den Steuerschieber in der Drehkolbenwelle, der die Verdrehung der Pumpenstempel auf größere Einspritzmenge veranlaßt (Abb. 27).

5. Ein Beispiel für die Wirkungsweise der Gemischregelung

Das Flugzeug fliegt in 3,5 km Höhe. Die Maschine ist im Reiseflug. Die Motoren machen 2250 U/min bei einem Ladedruck von 1,15 ata. Kurz vor dem Zielflug will der Flugzeugführer seine Maschine hochziehen. Mit der Leistungshebelstellung „Steig- und Kampfleistung“ wählt er einen Ladedruck von 1,25 ata. Durch Betätigung des Drehzahlwahlhebels verringert er den Steigungswinkel der Luftschraubenflügel und erhöht dadurch die Motordrehzahl auf 2400 U/min. Das Flugzeug steigt auf 4,5 km Höhe.

Wie wirkt sich nun die Veränderung von Ladedruck und Flughöhe auf die Gemischregelung aus?

Die Regeldose ist empfindlich für Druck und Temperatur der Ladeluft. Der Druck der Ladeluft, von der die Dose umspült ist, steigt. Also verkürzt sich die Länge der Dose. Infolge der sinkenden Außenluft-Temperatur und damit geringeren Ladeluft-Temperatur hat auch die in der Dose befindliche dünne Luft nach Annahme der niedrigen Ladeluft-Temperatur ein kleineres Volumen angenommen und dadurch die Dose noch etwas zusammengezogen:

Die Höhendose ist empfindlich für den Druck der Ladeluft und für den atmosphärischen Luftdruck. Der Druck der Ladeluft ist größer geworden, während der in ihrem Innern herrschende atmosphärische Luftdruck mit zunehmender Höhe kleiner wird. Je stärker der Druckunterschied wird, desto mehr verkürzt sich die Höhendose.

Die Längenänderungen der beiden Dosen zusammengezählt ergeben den für die Veränderung der Einspritzmenge notwendigen Regelweg der Dosen. Der mit ihnen verbundene Steuerschieber macht den gleichen Weg in der Drehkolbenwelle und nimmt in der vorbeschriebenen Weise durch entsprechende Steigerung der Fördermenge eine Angleichung der eingespritzten Kraftstoffmenge an die erhöhte Luftzuführung zu den Zylindern vor, die einerseits durch die Erhöhung des Ladedrucks bedingt ist und andererseits in der in größerer Flughöhe verbesserten Totraum-Entladung der Verbrennungsräume des Motors ihre Ursache hat.

Neben dem Hauptregler mit Regel- und Höhendose wird durch die Steigerung des Ladedrucks von 1,15 ata auf 1,25 ata aber auch der Anreicherungsregler beeinflusst.

Das barometrische Dosenpaar des Anreicherungsreglers ist so einreguliert, daß der Umschaltpunkt für die Überfettung bei einem Ladedruck von etwa 1,2 ata liegt. Erst wenn der Ladedruck diesen Wert erreicht, vermag er das Dosenpaar zusammenzudrücken, so daß der mit ihnen verbundene Steuerschieber seine Lage ändert und das Drucköl so steuert, daß über Verstellwelle und Schraubenritzel der Steuerschieber in der Drehkolbenwelle verdreht wird. Das hat eine zusätzliche Schwenkung des Flügelkolbens im Sinne einer Vergrößerung der Einspritzmenge zur Folge. Über Regelgetriebe und Regulierstangen werden die zwölf Stempel der Einspritzpumpe um den Betrag für die Anreicherung des Gemisches verdreht.

Aus dem Einspritz-Diagramm (Abb.24) ist die tatsächliche Vergrößerung der Einspritzmenge bei der Erhöhung des Ladedrucks von 1,15 auf 1,25 ata ersichtlich. Der Einflug der Flughöhe auf die Einspritzmenge ist in dem Diagramm unberücksichtigt geblieben.

6. Die Stop-Einrichtung

Die hohen Drehzahlen des Motors bedingen beträchtliche Ventilüberschneidungen, d. h. um die Abgase möglichst restlos aus dem Verbrennungsraum (Motorzylinder) zu spülen und viel Frischluft hereinzubekommen,

schließt das Auslaßventil erst, wenn die Einlaßventile schon eine geraume Zeit geöffnet sind. Damit ist aber das Stillsetzen des Motors luftseitig unmöglich geworden, denn trotz geschlossener Luftdrossel gelangt Frischluft zur Verbrennung in die Zylinder, und zwar saugt der Motor die Luft durch die Auslaßventile an.

Um bei ausgeschalteter Zündung ein Weiterlaufen des Motors durch Glühzündung zu verhindern, muß das Stillsetzen des Motors durch Sperrung der Kraftstoffzufuhr erfolgen. Diesem Zwecke dient die Stop-Einrichtung. Durch sie wird sinngemäß der umgekehrte Vorgang wie bei der Anreicherung eingeleitet. Der Stopzug ist in der Zelle mit dem Brandhahn gekuppelt und wird von Hand gezogen. Der Zahnbolzen der Zugstange verdreht die Verstellwelle (Abb. 29). Der auf der Verstellwelle (neben dem Zahnrad) gelagerte Kugelhebel dreht sich aus dem Stößelmitnehmer heraus, so daß die Federkraft am Stößel den Anreicherungskolben in seine Endstellung drückt. Die Verstellwelle wiederum verdreht den Steuerschieber in der Drehkolbenwelle, so daß über Regelgetriebe und Regulierstangen die Pumpenstempel auf Nullförderung verdreht werden. Der Motor erhält keinen oder nicht genügend Kraftstoff und kann nicht mehr arbeiten (Abb. 28).

Sollte der Hubmagnet versehentlich noch eingeschaltet sein, führt dennoch die Betätigung der Stop-Einrichtung zur Stillsetzung des Motors. Denn durch den Stopzug wird gleichzeitig ein Ölschieber betätigt, der das von der Anreicherungssteuerung zum Anreicherungskolben strömende Drucköl zum Druckölaustritt abfließen läßt (Abb. 30).

Die Wirksamkeit der Stop-Einrichtung wird auf dem Prüfstand ermittelt. Das Ziehen des Stopzuges muß bei einem Ladedruck von 1,0 ata und darunter eine Fördermenge von weniger als 50 mm^3 pro Einspritzpumpenhub ergeben. Bei dieser geringen Fördermenge ist der Motor nicht mehr lauffähig.

III. Regelgetriebe

Das Regelgetriebe überträgt die Bewegung des Flügels der Drehkolbenwelle über die Regulierstangen gleichmäßig auf die zwölf Einspritzpumpenstempel (Abb.8). Es besteht in seinen Hauptteilen aus dem querliegenden Hebelbalken mit den beiden Zahnsegmenten und dem Lagerschieber mit Hebellager und Hebel. Das Hebellager ist verstellbar, d. h. der Mittelpunkt, um den sich der Hebelbalken mit den beiden Zahnsegmenten dreht, kann verändert werden. Durch die Verschiebung des Drehpunktes ändert sich die Steigung der Regelkurve.

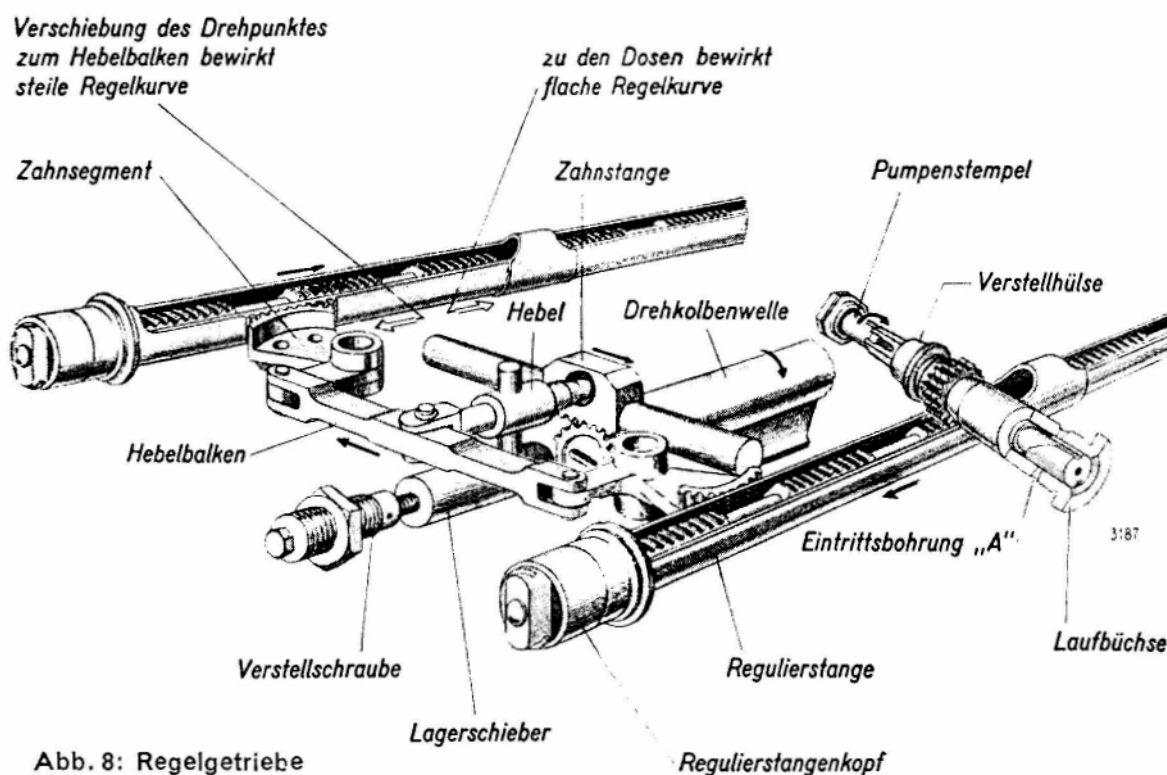


Abb. 8: Regelgetriebe

Die Einstellung des Getriebes erfolgt im Herstellerwerk und darf nicht verändert werden.

Der Bewegungsvorgang spielt sich folgendermaßen ab:

Die Drehkolbenwelle wird durch Drucköl verdreht. Dadurch wird die mit der Drehkolbenwelle im Zahneingriff stehende Zahnstange verschoben. Der in der Zahnstange gelagerte Hebel dreht sich um seinen verstellbaren Drehpunkt (Verstellung der Gesamt-Einspritzmenge) und verschiebt den Hebelbalken. Die beiden an den Enden des Hebelbalkens angelenkten Zahnsegmente greifen in die Regulierstangen ein und verstellen über die zwölf Verstellhülsen die zwölf Einspritzpumpenstempel.

IV. Kraftstoff-Entlüfter

Bei Schräglagen des Flugzeuges mit bereits zum Teil entleerten Kraftstoff-Behältern kommt es vor, daß die eine oder andere Seite der Kraftstoff-Förderpumpe Luft ansaugt. Die Luft würde von der Druckhaltepumpe bzw. Förderpumpe mit dem Kraftstoff in die Einspritzpumpe gedrückt und könnte den gleichmäßigen Lauf des Motors beeinträchtigen. Außerdem ist das Anlassen des Motors ohne Standentlüftung kaum durchführbar.

Der in die Kraftstoff-Druckleitung zwischen Druckhaltepumpe und Einspritzpumpe zwischengeschaltete, nach dem Schwimmerprinzip arbeitende Kraftstoff-Entlüfter beseitigt die Luft aus dem Kraftstoff (Abb. 9).

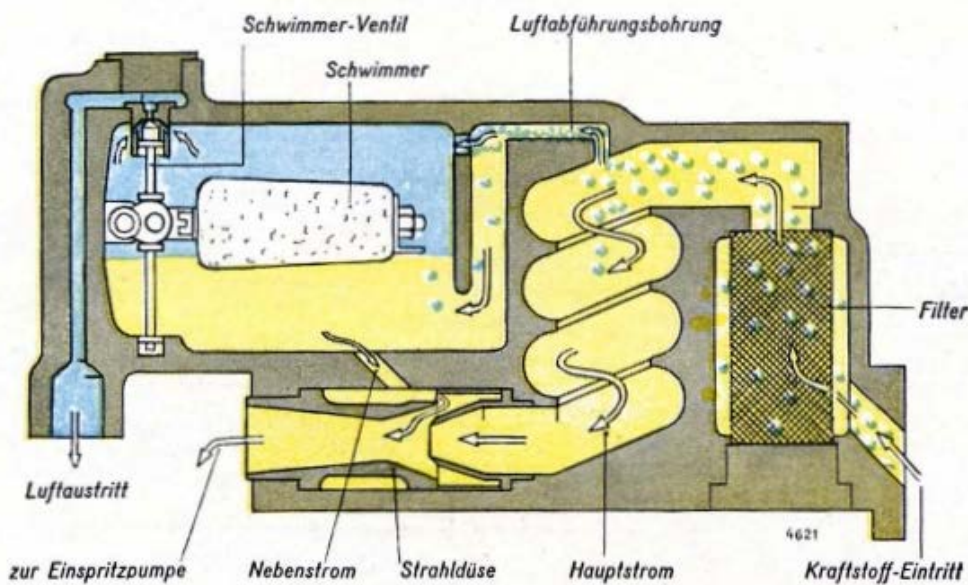


Abb.9: Der Kraftstoff-Entlüfter

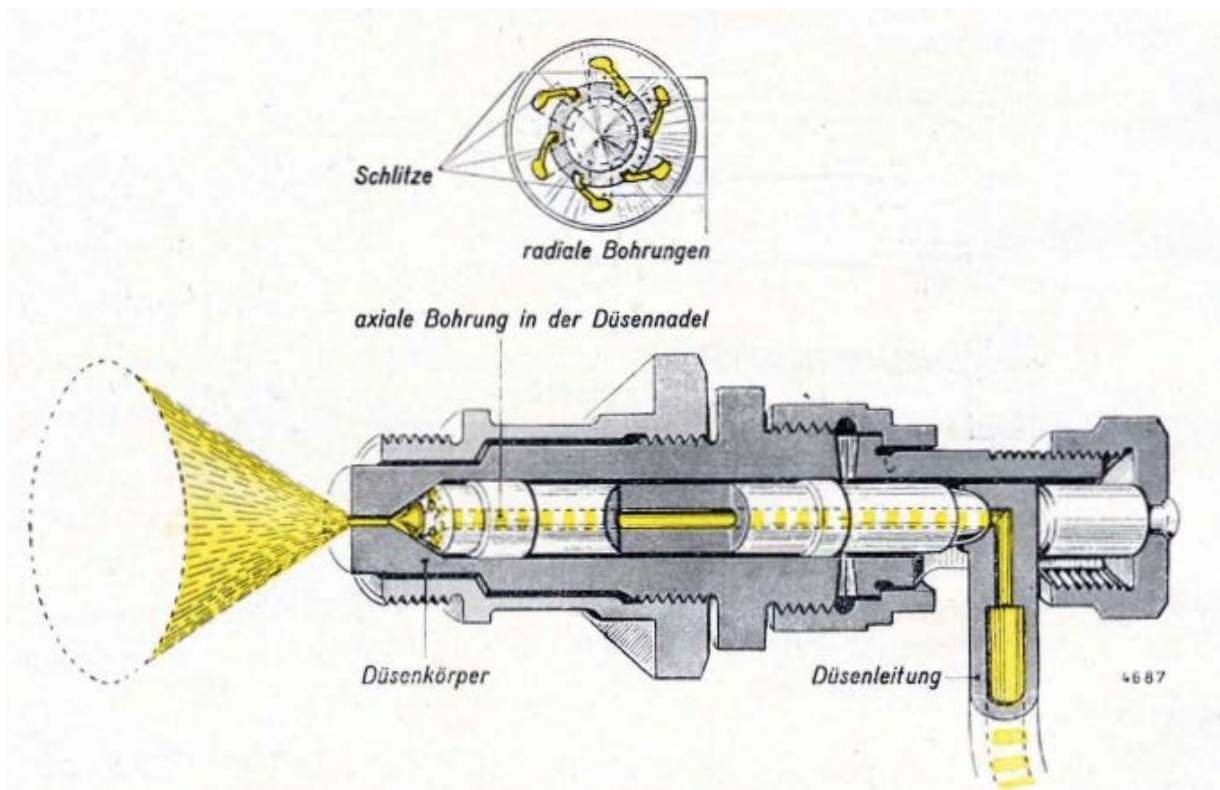
Wirkungsweise

Der von der Förderpumpe kommende Kraftstoff durchläuft ein Filter und gelangt in den Rotationsraum, der gewindelförmige Gänge hat. Diese Spirale versetzt den Kraftstoff in eine starke Drehbewegung. Durch Fliehkraftwirkung werden die gewichtsmäßig schwereren Kraftstoff-Teilchen an die Gehäusewand geschleudert und kreisen um den in der Mitte entstehenden Luftkern. Dieser Luftkern mit geringen Kraftstoffmengen wird in eine Schwimmerkammer geleitet, aus dem die vom Kraftstoff geschiedene reine Luft durch das von einem Korkschwimmer gesteuerte Ventil über Entlüftungsleitung und Vorratsbehälter ins Freie abströmt. Der im Entlüfterraum (Schwimmerkammer) abgesonderte Kraftstoff wird durch die Saug-

wirkung einer in den Hauptstrom eingeschalteten Strahldüse nach dem Hauptstrom zurückgeführt, der von der Spirale auf kürzestem Wege in die Einspritzpumpe fließt (Abb.16).

V. Einspritzdüse

Der Kraftstoff wird unmittelbar in die Arbeitszylinder des Motors während des Saughubes eingespritzt. Hierzu dienen offene Nadeldüsen, die keine beweglichen Teile besitzen (Abb.10). Die Einspritzdüsen bedürfen keiner Wartung und werden auch nicht bei Teilüberholung des Motors ausgebaut.



Durch die Düsenleitung gelangt der Kraftstoff von der Einspritzpumpe in die axiale Bohrung der Düsennadel. Sechs radiale Bohrungen leiten ihn weiter in die zugeordneten Schlitze, die an der Kegelspitze der Düsennadel münden. Die Schlitze versetzen den Kraftstoff in kreisende Bewegung. Er wirbelt um die Kegelspitze, wird durch die axiale Bohrung des Düsenkörpers gepreßt und zerstäubt im Motorzylinder in Form eines Kegelmantels mit spitzem Winkel.

VI Elektrische Kraftstoff- Verbrauchsmessung

Bei steigenden Flugleistungen, insbesondere bei Durchführung von Fernflügen mit größter Reichweite, besteht die Notwendigkeit, ständig den augenblicklichen Kraftstoff-Verbrauch beobachten zu können. Die Überwachung des Kraftstoff-Verbrauches dient zur genauen Kontrolle der den Verbrauch beeinflussenden Regelorgane und gibt dem Flugzeugführer zuverlässige Unterlagen zur Berechnung der Flugstrecke. Die Wirkungsweise der Anlage ist in der D.(Luft)T.3840 eingehend beschrieben.

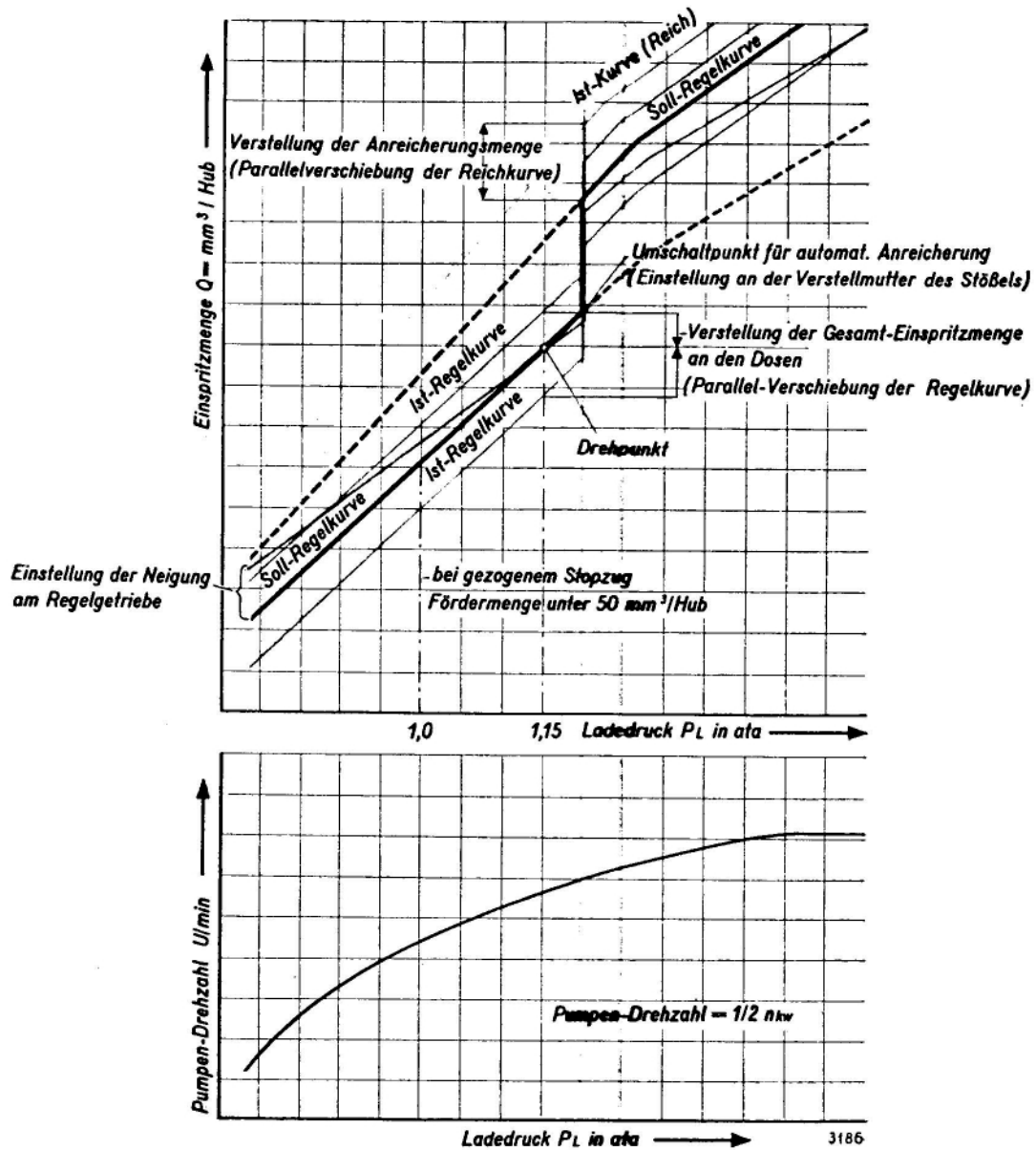
VII. Einregulierung der Einspritzanlage

Die Einspritzpumpe wird auf dem Pumpenprüfstand im Herstellerwerk nach gegebenen Vorschriften auf gleiche Einspritzmenge sämtlicher zwölf Pumpenelemente eingestellt. Die Abstimmung der einzelnen Pumpenelemente aufeinander wird ermöglicht durch die Aufteilung der Regulierstangen in einzelne Zahnbolzen, die auf Verstellspindeln sitzen.

Die Einregulierung der Regelkurve (Abb. 11), d.h. Einregulierung der Gesamt-Einspritzmenge, erfolgt durch Verschiebung der Regel- und Höhendose (Abb.6). Die Drehrichtung der Verstell-Einrichtung ist nach dem Wasserhahnprinzip festgelegt: Rechtsdrehung = Verringerung der Einspritzmenge, Linksdrehung=Vergrößerung der Einspritzmenge. Die Einstellung wird als zweistellige Zahl von einem Zählwerk angezeigt und kann ohne Lösung der Verschlußkappe der Verstell-Einrichtung abgelesen werden (Abb.6). Die Werks-Einstellung wird in die Lebenslaufakte eingetragen.

Bei der Verstellung der Gesamt-Einspritzmenge wird die Regelkurve parallel verschoben, Die Neigung der Kurve wird mittels einer Verstellerschraube durch Veränderung der Übersetzung im Regelgetriebe beeinflusst (Abb. 8). Rechtsdrehung ergibt eine flachere Regelkurve. Der Drehpunkt der Kurve liegt bei einem Ladedruck $PL = 1,15 \text{ ata}$.

Die Reichkurve kann außerdem für sich allein parallel verlegt werden. Das Verschieben der Reichkurve wird durch Verstellen der Anschlagschraube am Fühlhebel vorgenommen (Abb. 12). Größerer Ausschlag des Fühlhebels ergibt eine größere Anreicherungs­menge,



Abb, 11: Einregulierung der Einspritzanlage

Die Einstellung des Einsatzpunktes für die automatische Anreicherung erfolgt an der Einstellschraube am Stößel. Rechtsdrehen der Verstellmutter bewirkt Einsatz der Anreicherung bei einem geringeren Ladedruck.

Die Einstellung der Einzelpumpen kann nur auf dem Pumpen-Prüfstand durchgeführt werden, da bei einer am Motor angebauten Einspritzpumpe die Messung der Fördermenge der einzelnen Pumpenelemente nicht möglich ist.

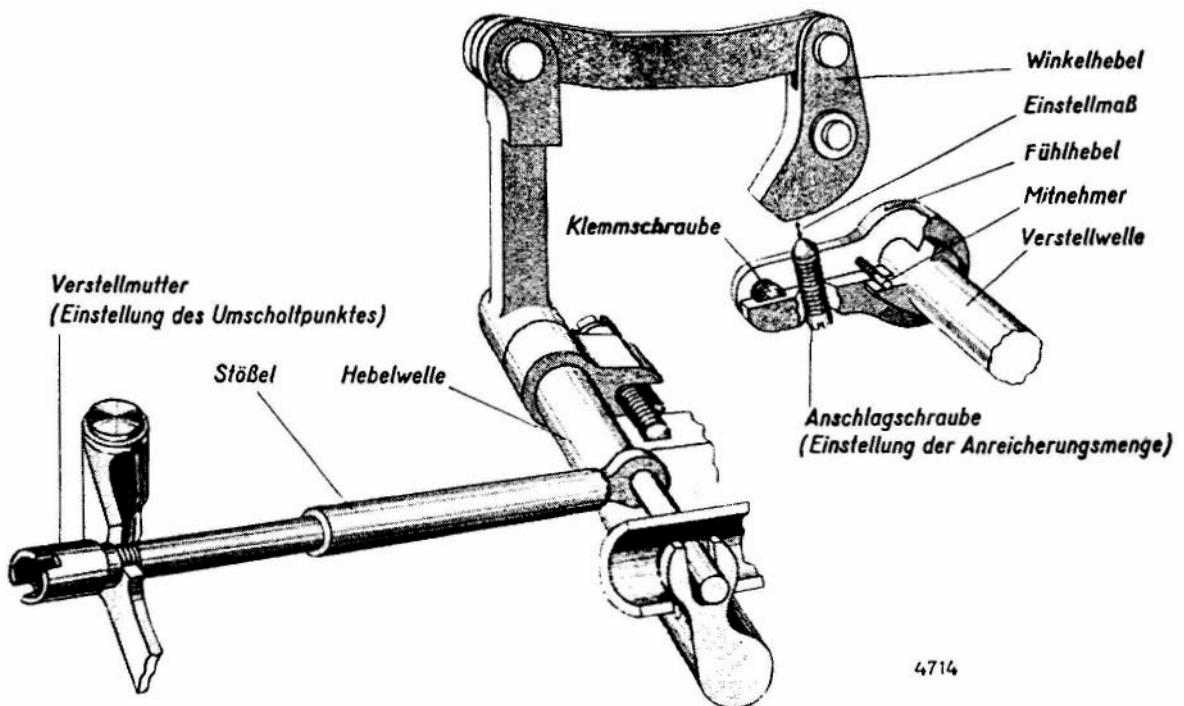


Abb. 12: Einregulierung der Anreicherungs-Einrichtung

Regel- und Reichkurve können nur unter Verwendung einer Rotameßanlage vorschriftsmäßig eingestellt werden. **Eine eigenmächtige Nachregulierung am Motor ist streng verboten** und darf lt. Vorschrift des RLM nur von Meßkolonnen mit Meßanlagen des Techn. Außendienstes der Herstellerfirma oder von den mit einer Lizenz der Erprobungsstelle der Luftwaffe versehenen Prüfern vorgenommen werden.

Sämtliche Verstellmöglichkeiten sind plombiert.

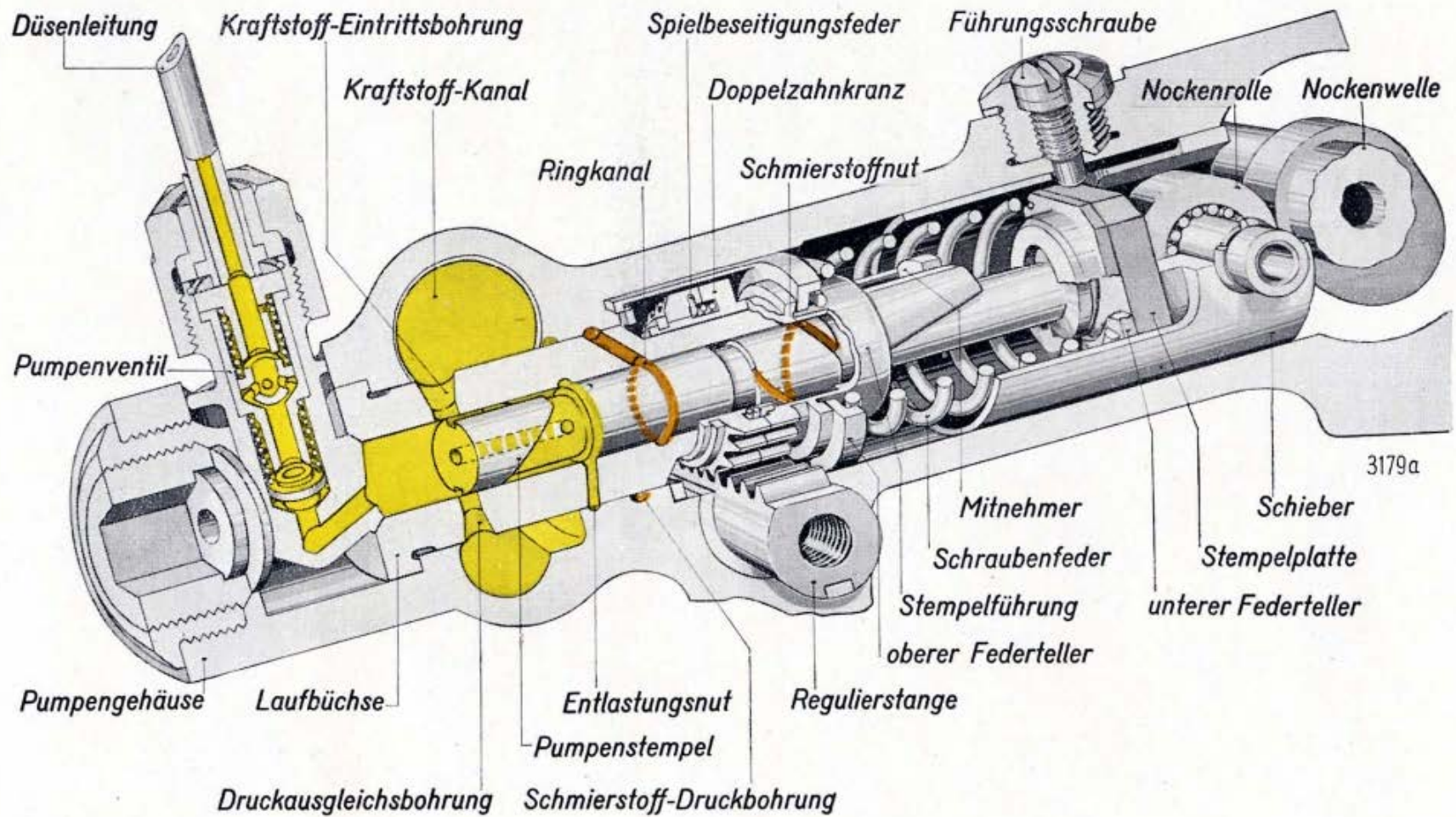
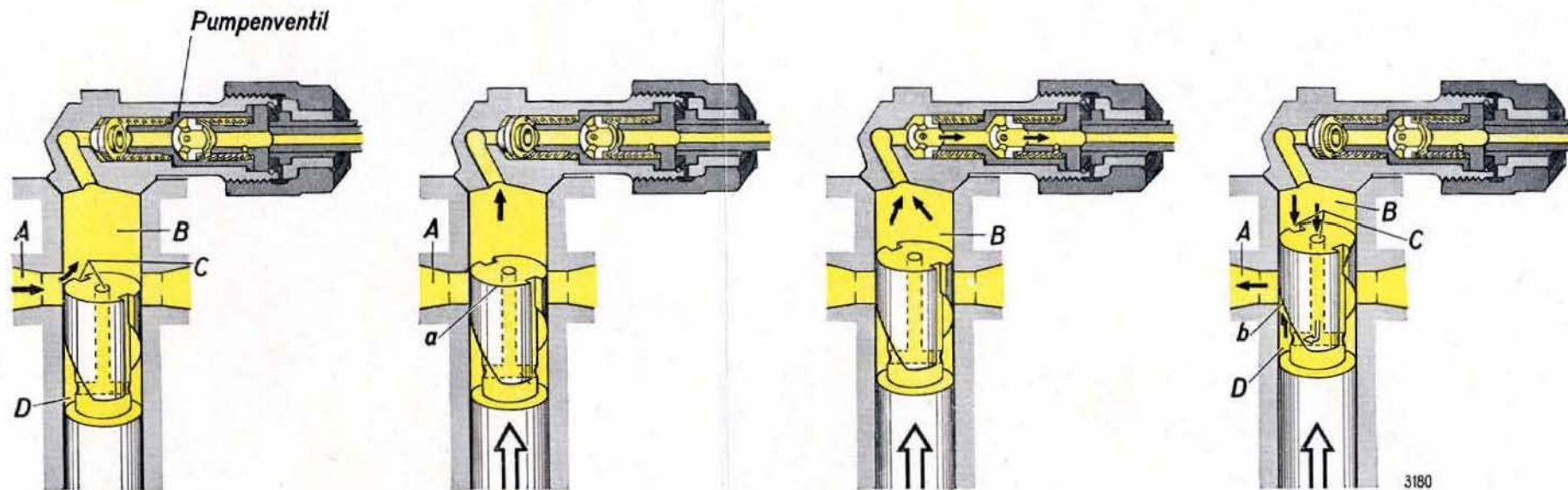


Abb. 13: Schnitt durch ein Pumpenelement



1. Pumpenstempel im inneren Totpunkt

Der Kraftstoff strömt durch die Bohrung „A“ in den Druckraum „B“ und füllt über Rückströmnut und Bohrung „C“ den Hohlraum „D“.

2. Nutzhubbeginn

Der Pumpenstempel schließt mit seiner oberen Steuercante „a“ gerade die Bohrung „A“. Es beginnt also der Nutzhub.

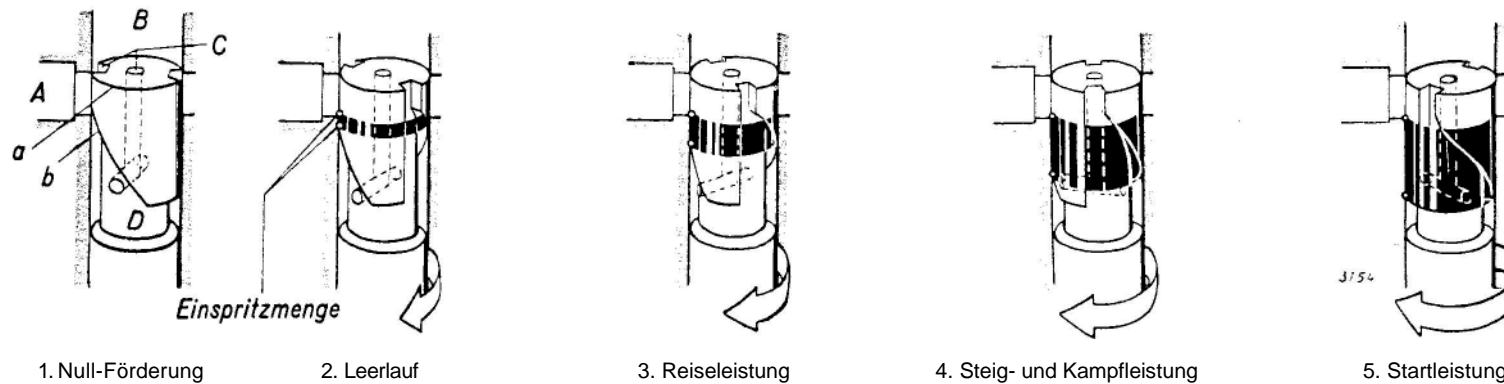
3. Nutzhub

Durch den steigenden Kraftstoffdruck im Druckraum „B“ öffnet sich das Pumpenventil. Der Kraftstoff wird über Düsenleitung und Düse in den Arbeitszylinder des Motors gedrückt.

4. Nutzhubende

Sobald die schrägläufige untere Steuercante „b“ das Saugloch „A“ freigibt, entsteht im Druckraum „B“ Druckentlastung, d. h. das Pumpenventil schließt, und der Kraftstoff fließt aus dem Druckraum „B“ über Rückströmnut und -nut „C“ sowie Hohlraum „D“ zu „A“.

Abb. 14: Der Förderhub



Der Pumpenstempel schließt mit seiner Steuerkante „a“ die Bohrung „A“. Gleichzeitig gibt die Steuerkante „b“ die Bohrung „A“ frei. Betätigung des Stopzuges. **Verdrehen** des Steuerschiebers (Abb. 28).

Verdrehen des Pumpenstempels in Pfeilrichtung verlängert die Dauer des Nutzhubes. Die Einspritzmenge wird größer. Verdrehen des Pumpenstempels entgegen der Pfeilrichtung verringert die Einspritzmenge. Automatische Veränderung der Einspritzmenge durch Längenänderungen der Regel- und Höhendose, was zu einer Änderung der Stellung des Steuerschiebers in der Drehkolbenwelle führt.

(**Verschiebung** des Steuerschiebers, Abb. 21 und 22.)

Zusätzliche Vergrößerung der Einspritzmenge durch die Anreicherungs-Einrichtung. (**Verdrehen** des Steuerschiebers, Abb. 25.)

Abb. 15: Veränderung der Einspritzmenge

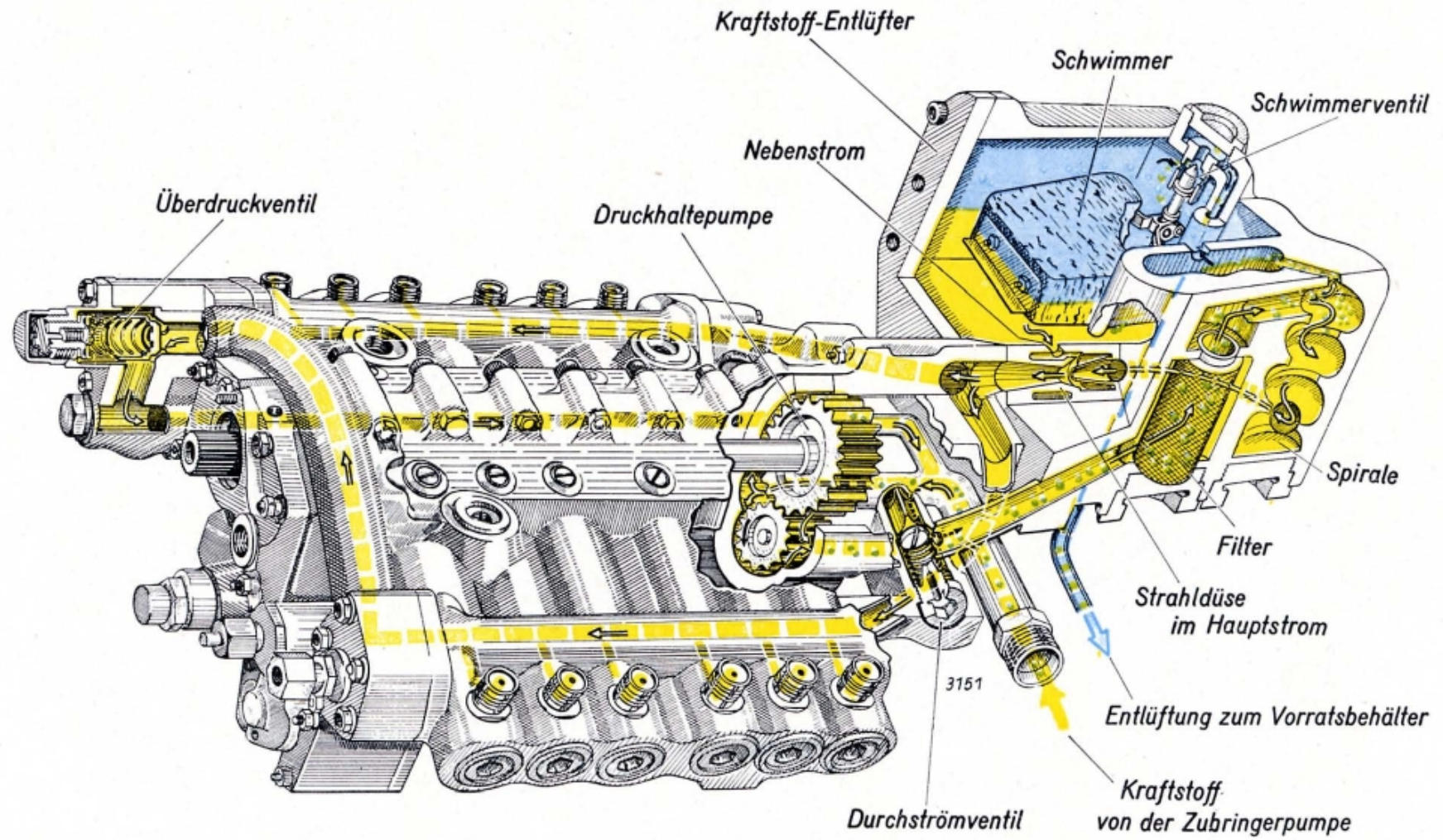


Abb. 16: Der Kraftstoffweg

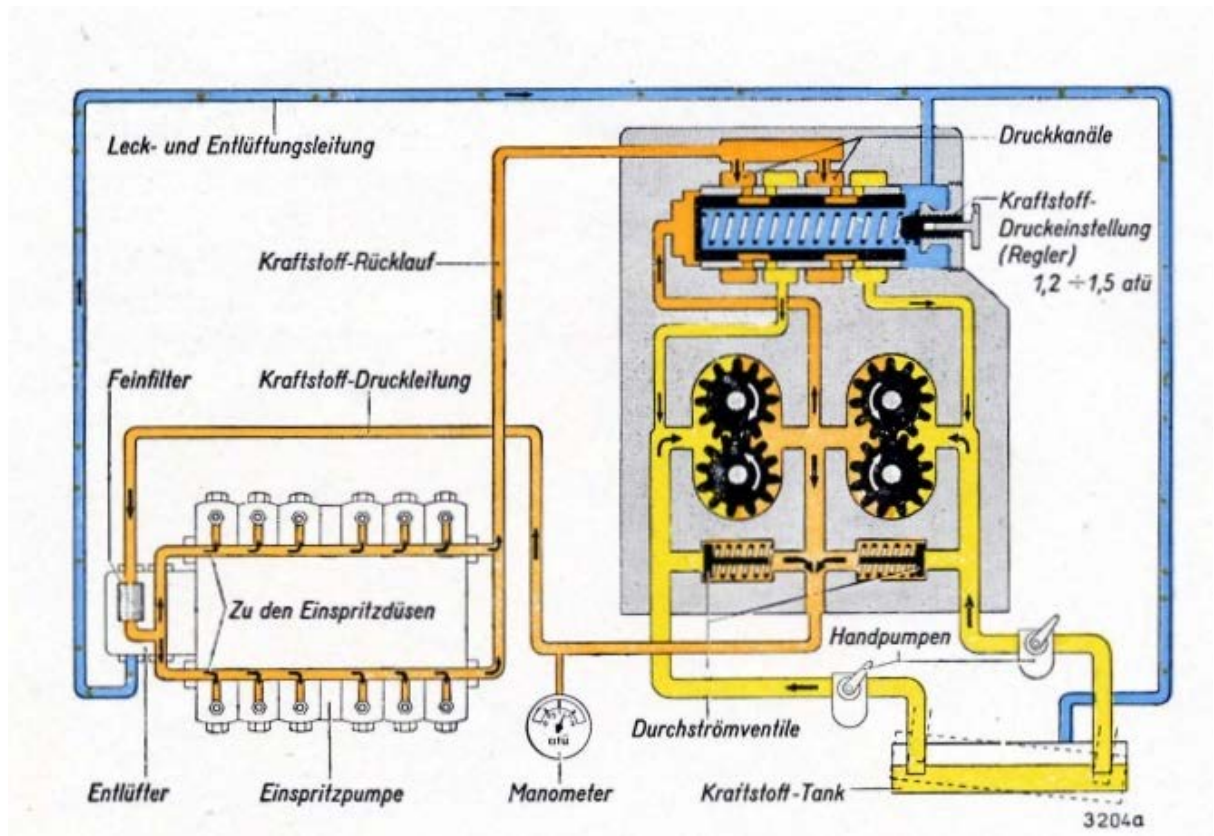


Abb. 17: Kraftstoffweg mit Druckhaltepumpe - Schematische Darstellung (JUMO 211 F u. J, Baureihe 1)

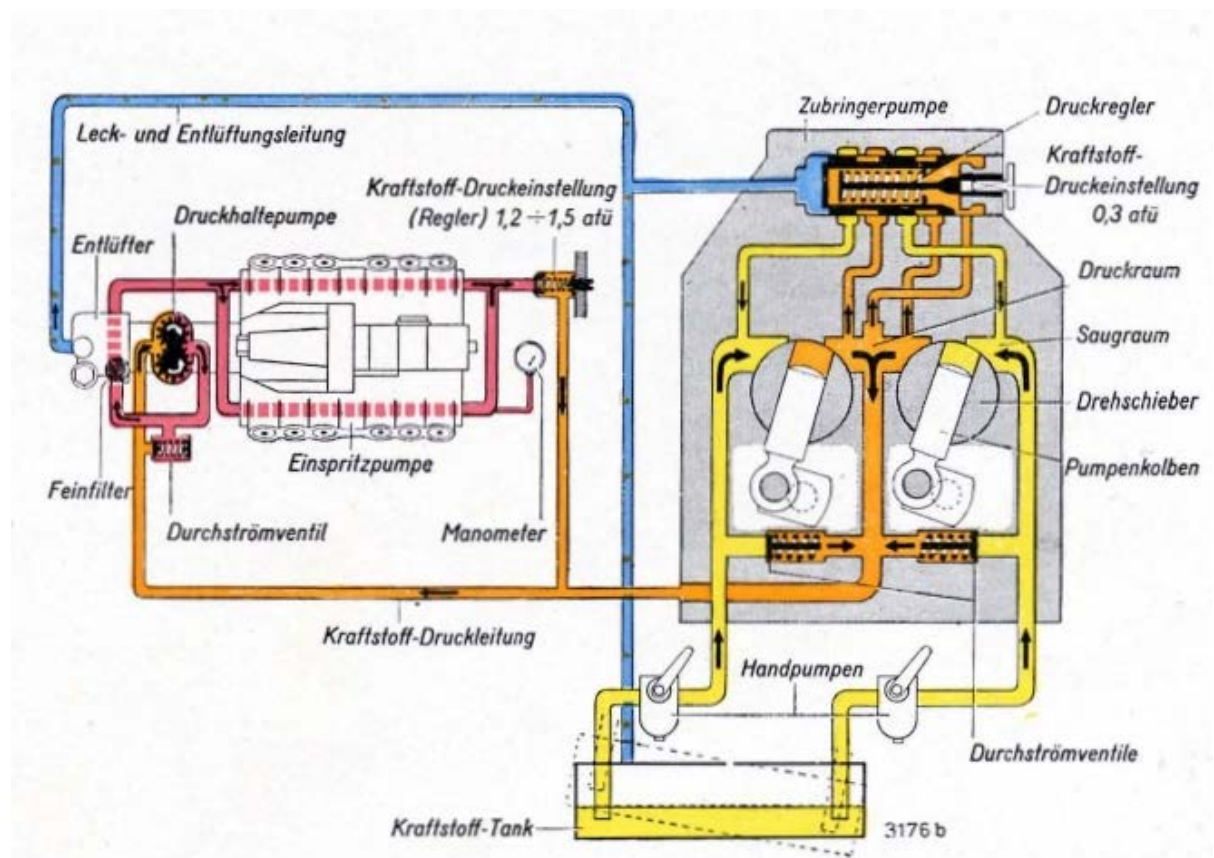


Abb. 18: Kraftstoffweg ohne Druckhaltepumpe - Schematische Darstellung (JUMO 211 F u. J, Baureihe 2)

Abb. 19
Schmierstoff-Umlauf
 (schematische Darstellung)

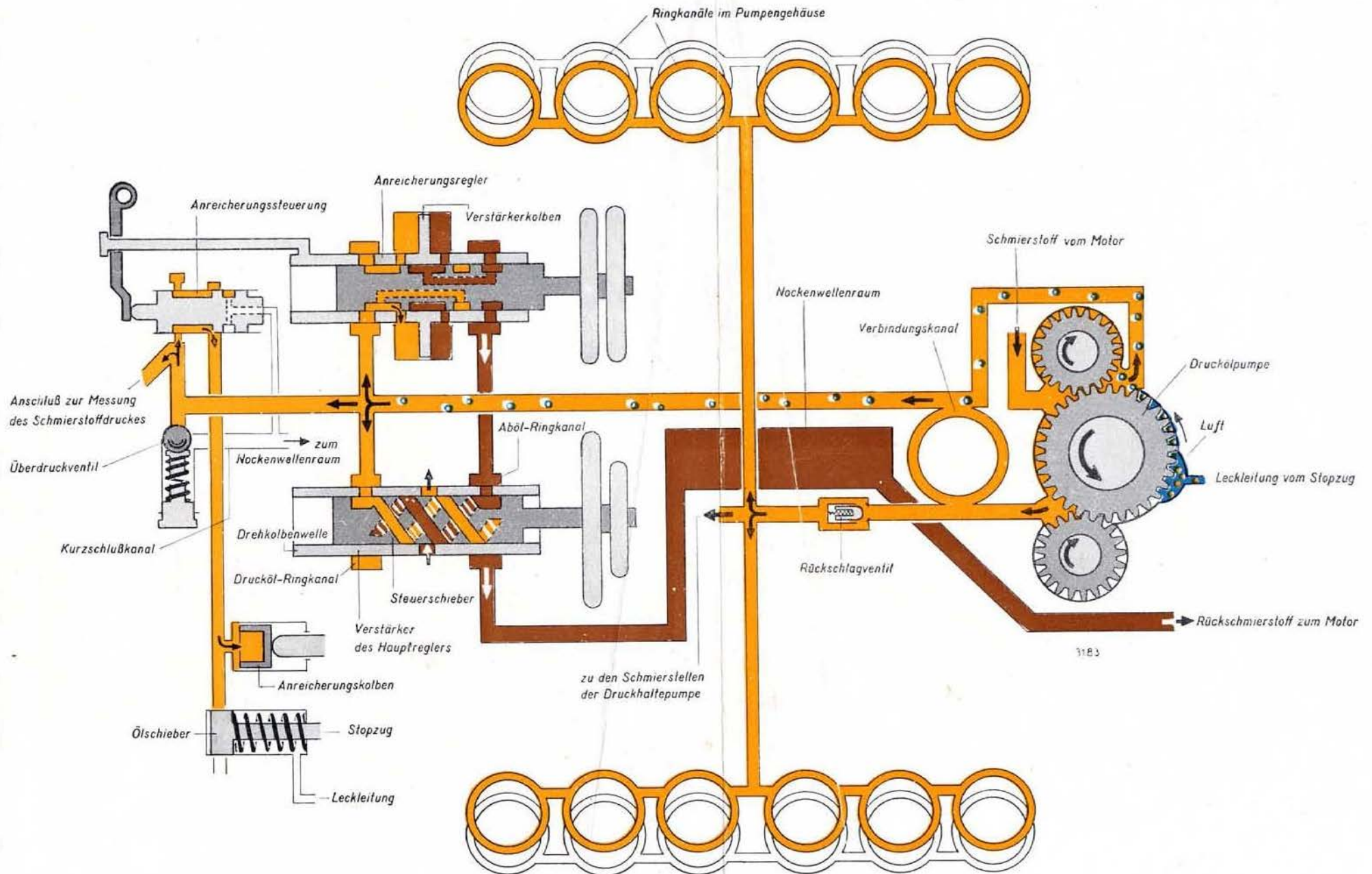


Abb. 19: Schmierstoff-Umlauf - Schematische Darstellung

Im Ruhezustand stehen die Bohrungen A u. B auf den Stegen des Steuerschiebers.

radiale Bohrungen zur Steuerung der Drehkolbenwelle

Verstärker

Geber

Außenluftzutritt in die Höhendose

Drehkolbenflügel

radiale Bohrungen für Drucköl-Zulauf

Nut Steg A

B

radiale Bohrungen für Ölablauf

Mitnehmer

Höhendose

Regeldose fast luftleer gepumpt

4645a

Übertragung der Drehbewegung auf das Regelgetriebe

Drehkolbenwelle (um ca. 180° verdreht)

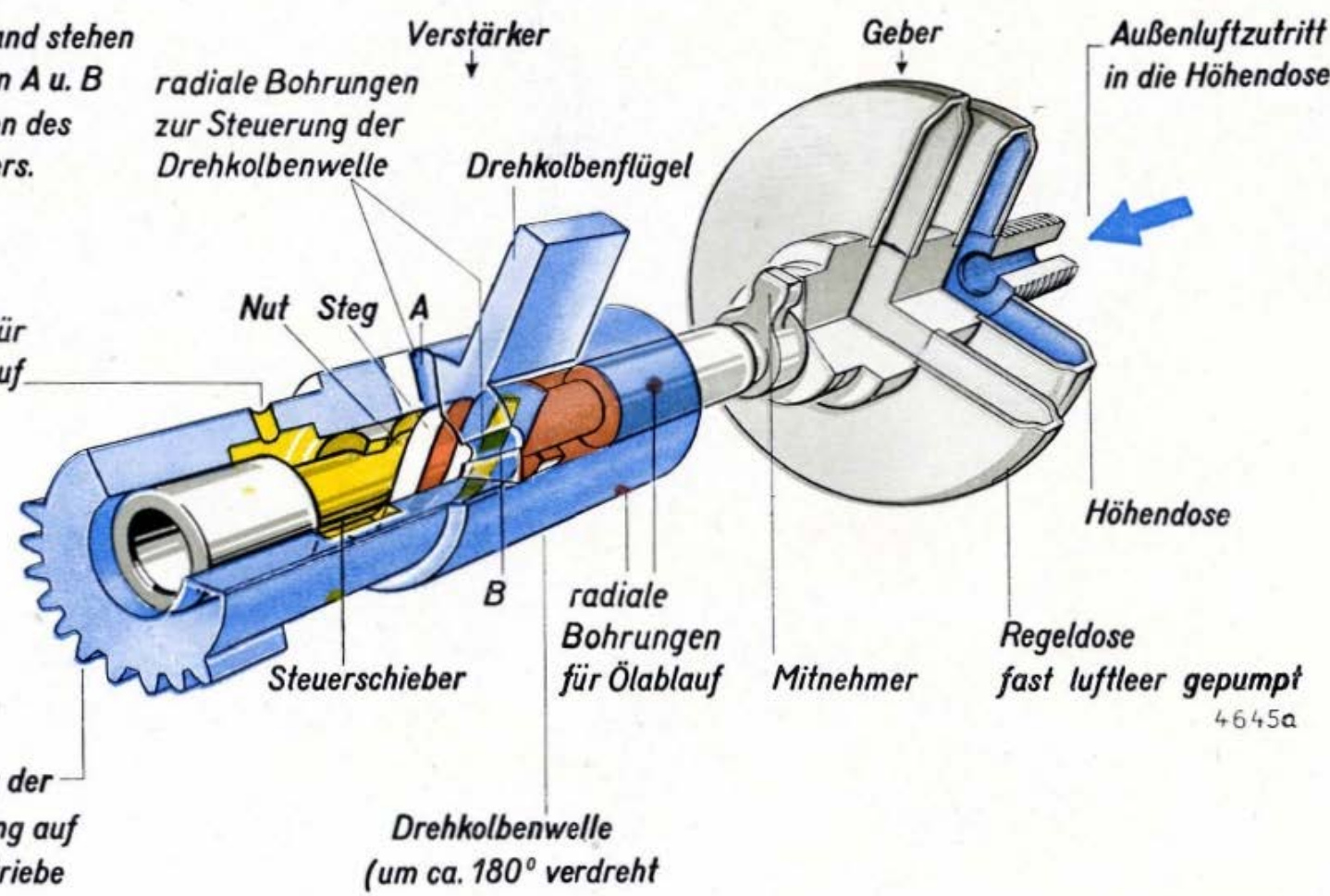


Abb. 20: Geber und Verstärker

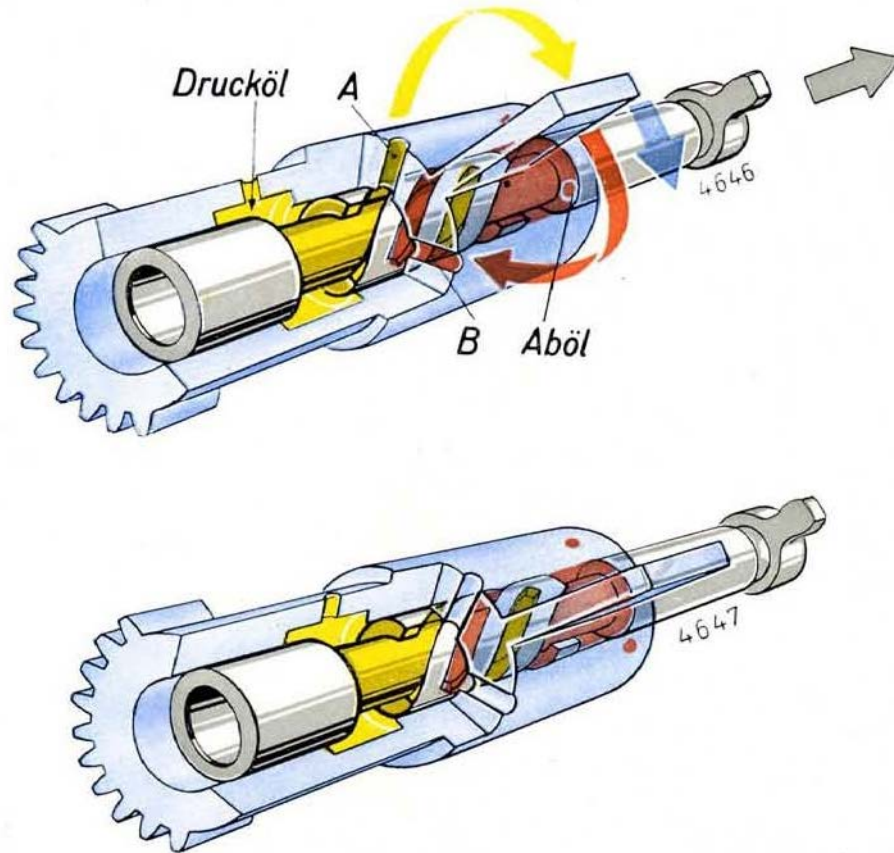


Abb. 21

Wirkungsweise des Verstärkers - Automatische Verstellung auf größere Einspritzmenge

im Ruhezustand werden die Bohrungen A und B in der Drehkolbenwelle von den Stegen des Steuerschiebers verschlossen. Kein Öldurchfluß im Verstärker. Bei steigendem Ladedruck (Reglerdose wird zusammengedrückt) verschiebt sich der Steuerschieber um einen geringen Betrag in Richtung zu den Dosen (in der Abbildung nach rechts). Dadurch kommen die Bohrungen A und B von den sie verschließenden Stegen frei.

Das in der Schraubennut stehende Drucköl (gelb) fließt über die Bohrung A in die eine der vom Flügelkolben gebildeten Ölkammern und bewegt den Flügelkolben entgegen dem Uhrzeigersinn (bei Sicht auf Pumpen-Antriebsseite) so weit, bis die Stege die Rotzungen wieder verschließen. Gleichzeitig strömt das auf der anderen Seite des Flügels stehende Öl (braun) über die Bohrung B und über die mit dem Abölkanal in Verbindung stehende Schraubennut ab. Der Flügelkolben hat also eine Drehbewegung gemacht und verstellt über das Regelgetriebe die Einspritzpumpen-Stempel auf größere Einspritzmenge.

Abb. 22

Wirkungsweise des Verstärkers - Automatische Verstellung auf kleinere Einspritzmenge

Bei fallendem Ladedruck (Regeldose dehnt sich aus) verschiebt sich der Steuerschieber um einen geringen Betrag in Richtung von den Dosen weg (in der Abbildung nach links). Dadurch kommen die Bohrungen A und B wiederum von den sie verschließenden Stegen frei. Das in der Schraubennut stehende Drucköl fließt jetzt über die Bohrung B in die andere Ölkammer und schwenkt den Flügel im Uhrzeigersinn (bei Sicht auf Pumpen-Antriebsseite) so weit, bis die Stege die Bohrungen wieder verschließen. Gleichzeitig strömt das auf der anderen Seite des Flügels stehende Öl über die Bohrung A und über die mit dem Abölkanal in Verbindung stehende Schraubennut ab.

Nachsatz: Bei automatischer Verstellung der Einspritzpumpe durch Regel- und Höhendose bewegt sich der Steuerschieber in seiner Längsrichtung.

Abb. 21 u.22
Wirkungsweise des Verstärkers
 automatische Verstellung auf größere und
 kleinere Einspritzmenge

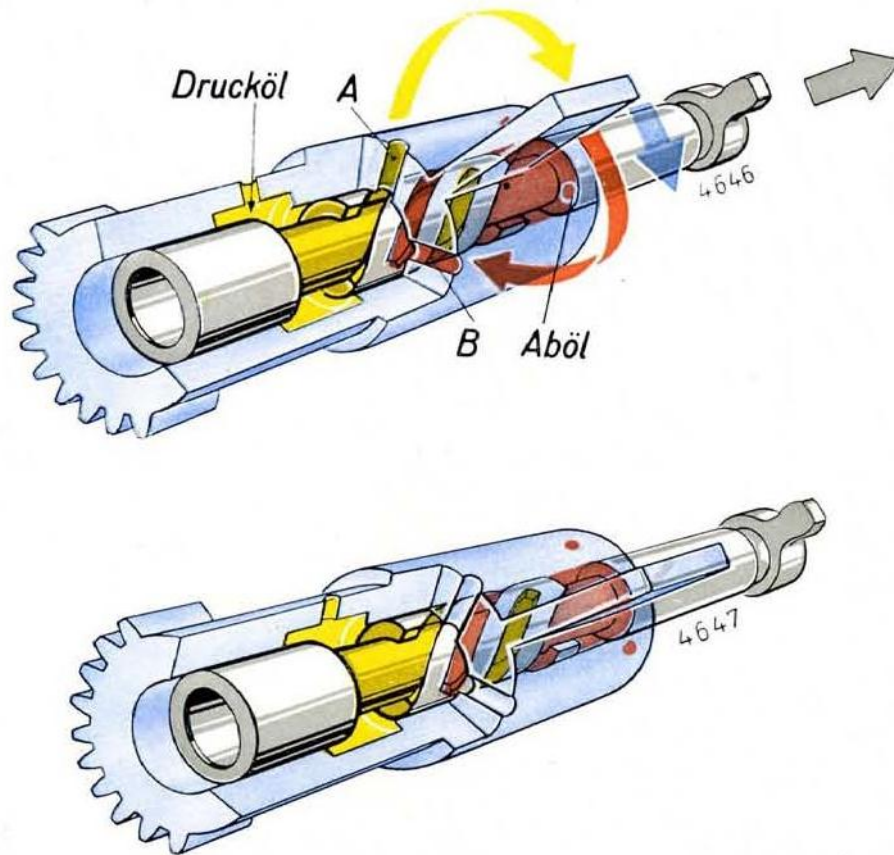


Abb. 21

Wirkungsweise des Verstärkers - Automatische Verstellung auf größere Einspritzmenge

im Ruhezustand werden die Bohrungen A und B in der Drehkolbenwelle von den Stegen des Steuerschiebers verschlossen. Kein Öldurchfluß im Verstärker. Bei steigendem Ladedruck (Reglerdose wird zusammengedrückt) verschiebt sich der Steuerschieber um einen geringen Betrag in Richtung zu den Dosen (in der Abbildung nach rechts). Dadurch kommen die Bohrungen A und B von den sie verschließenden Stegen frei.

Das in der Schraubennut stehende Drucköl (gelb) fließt über die Bohrung A in die eine der vom Flügelkolben gebildeten Ölkammern und bewegt den Flügelkolben entgegen dem Uhrzeigersinn (bei Sicht auf Pumpen-Antriebsseite) so weit, bis die Stege die Rotungen wieder verschließen. Gleichzeitig strömt das auf der anderen Seite des Flügels stehende Öl (braun) über die Bohrung B und über die mit dem Abölkanal in Verbindung stehende Schraubennut ab. Der Flügelkolben hat also eine Drehbewegung gemacht und verstellt über das Regelgetriebe die Einspritzpumpen-Stempel auf größere Einspritzmenge.

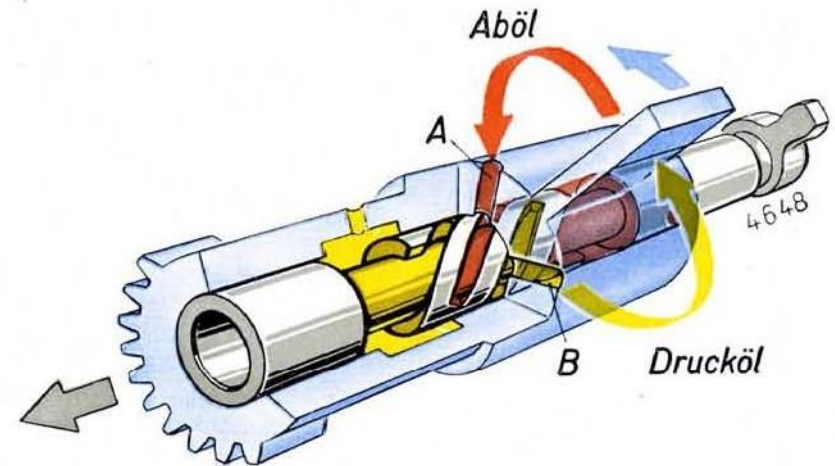


Abb. 22

Wirkungsweise des Verstärkers - Automatische Verstellung auf kleinere Einspritzmenge

Bei fallendem Ladedruck (Regeldose dehnt sich aus) verschiebt sich der Steuerschieber um einen geringen Betrag in Richtung von den Dosen weg (in der Abbildung nach links). Dadurch kommen die Bohrungen A und B wiederum von den sie verschließenden Stegen frei. Das in der Schraubennut stehende Drucköl fließt jetzt über die Bohrung B in die andere Ölkammer und schwenkt den Flügel im Uhrzeigersinn (bei Sicht auf Pumpen-Antriebsseite) so weit, bis die Stege die Bohrungen wieder verschließen. Gleichzeitig strömt das auf der anderen Seite des Flügels stehende Öl über die Bohrung A und über die mit dem Abölkanal in Verbindung stehende Schraubennut ab.

Nachsatz: Bei automatischer Verstellung der Einspritzpumpe durch Regel- und Höhendose bewegt sich der Steuerschieber in seiner Längsrichtung.

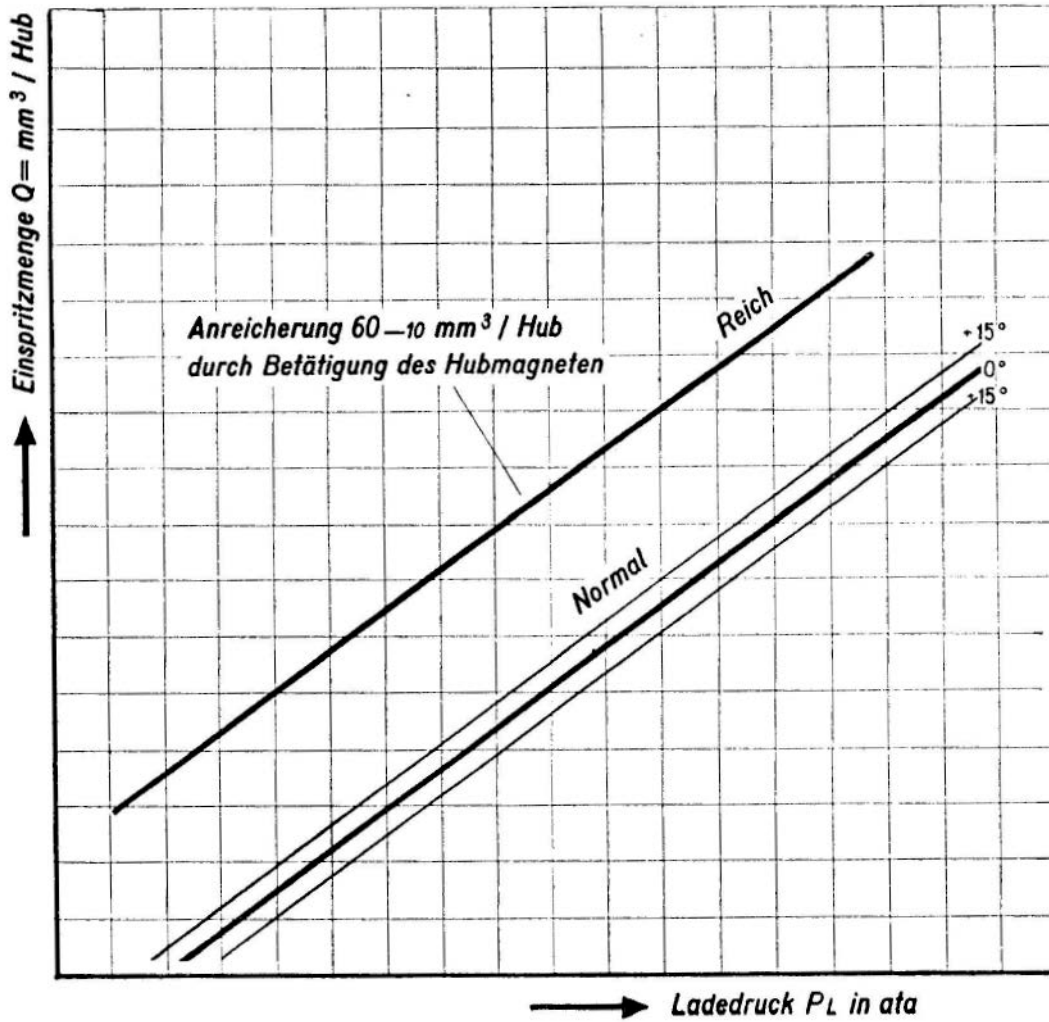


Abb. 23:
 Einspritz-
 Diagramm der
 Einspritzanlage
 JUMO 2009 D-1

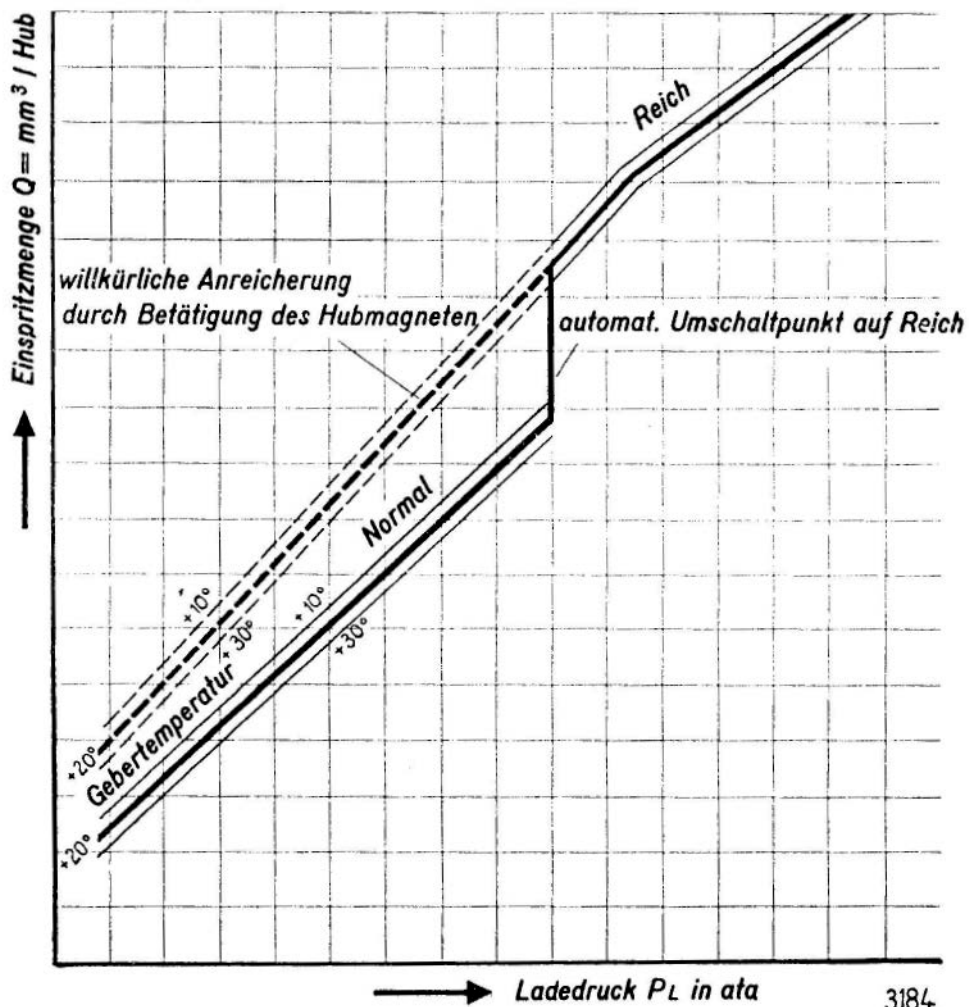


Abb. 24: Einspritz-
 Diagramm der
 Einspritzanlage
 JUMO 2021A-3

Abb.27 u. 28
Wirkungsweise des Verstärkers
 bei Anreicherung und gezogenem Stopzug

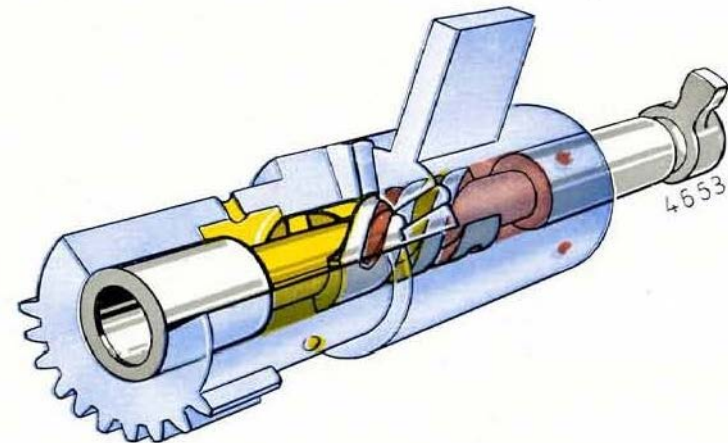
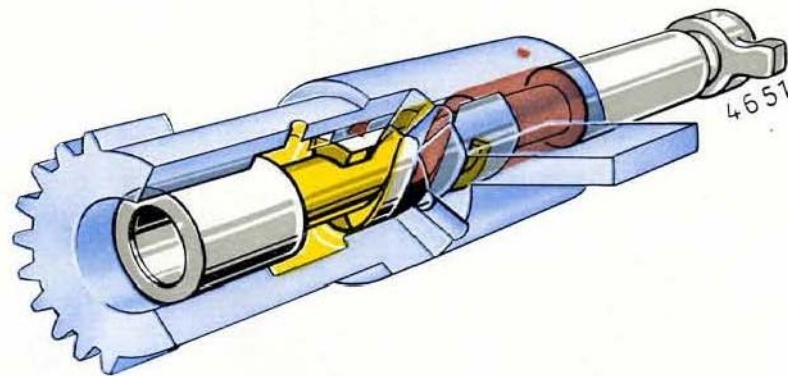
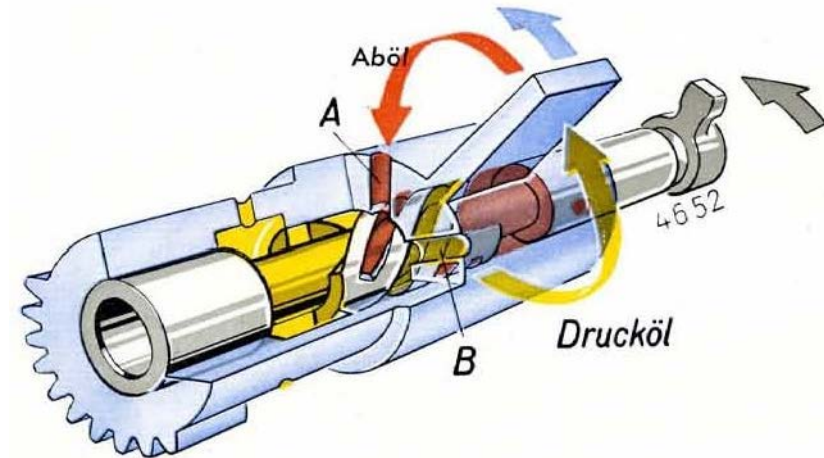
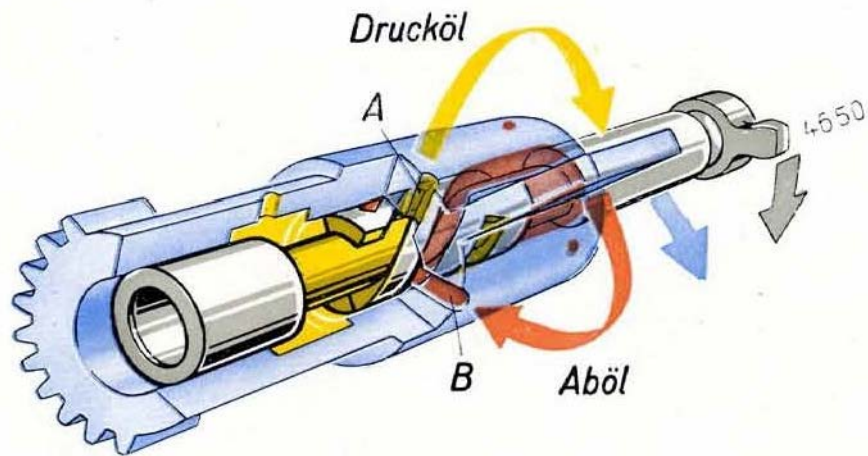


Abb.27: Wirkungsweise des Verstärkers bei Anreicherung

Abb.28: Wirkungsweise des Verstärkers bei gezogenem Stopzug

Bei automatischer Anreicherung sowie bei Betätigung des Hubmagneten wird der Steuerschieber um einen geringen Betrag entgegen dem Uhrzeigersinn (bei Sicht auf Pumpen-Antriebsseite) gedreht. Dadurch kommen die Bohrungen A und B von den sie verschließenden Stegen frei. Das in der Schraubennut stehende Drucköl wird durch die geöffnete Bohrung A gegen den Flügelkolben gedrückt. Gleichzeitig strömt das auf der Gegenseite des Flügels stehende Öl durch die Bohrung B ab. Die Drehkolbenwelle dreht sich ebenfalls entgegen dem Uhrzeigersinn und verstellt die Pumpenstempel im Sinne größerer Einspritzmenge.

Bei Betätigung des Stopzuges wird der Steuerschieber um einen geringen Betrag im Uhrzeigersinn (bei Sicht auf Pumpen-Antriebsseite) gedreht. Dadurch kommen die Bohrungen A und B von den sie verschließenden Stegen frei. Das in der Schraubennut stehende Drucköl wird durch die geöffnete Bohrung B gegen den Flügelkolben gedrückt, Gleichzeitig strömt das auf der Gegenseite des Flügels stehende Öl durch die Bohrung A ab. Die Drehkolbenwelle dreht sich ebenfalls im Uhrzeigersinn und verstellt die Pumpenstempel auf Null-Förderung.

Nachsatz: Bei der Verstellung auf „Reich“ und zurück auf ..Normal“ sowie bei Stopstellung und zurück dreht sich der Steuerschieber nur um seine Längsachse.

Abb. 30
Einspritzpumpenregler-Schema
 Stopstellung bei eingeschaltetem Hubmagneten

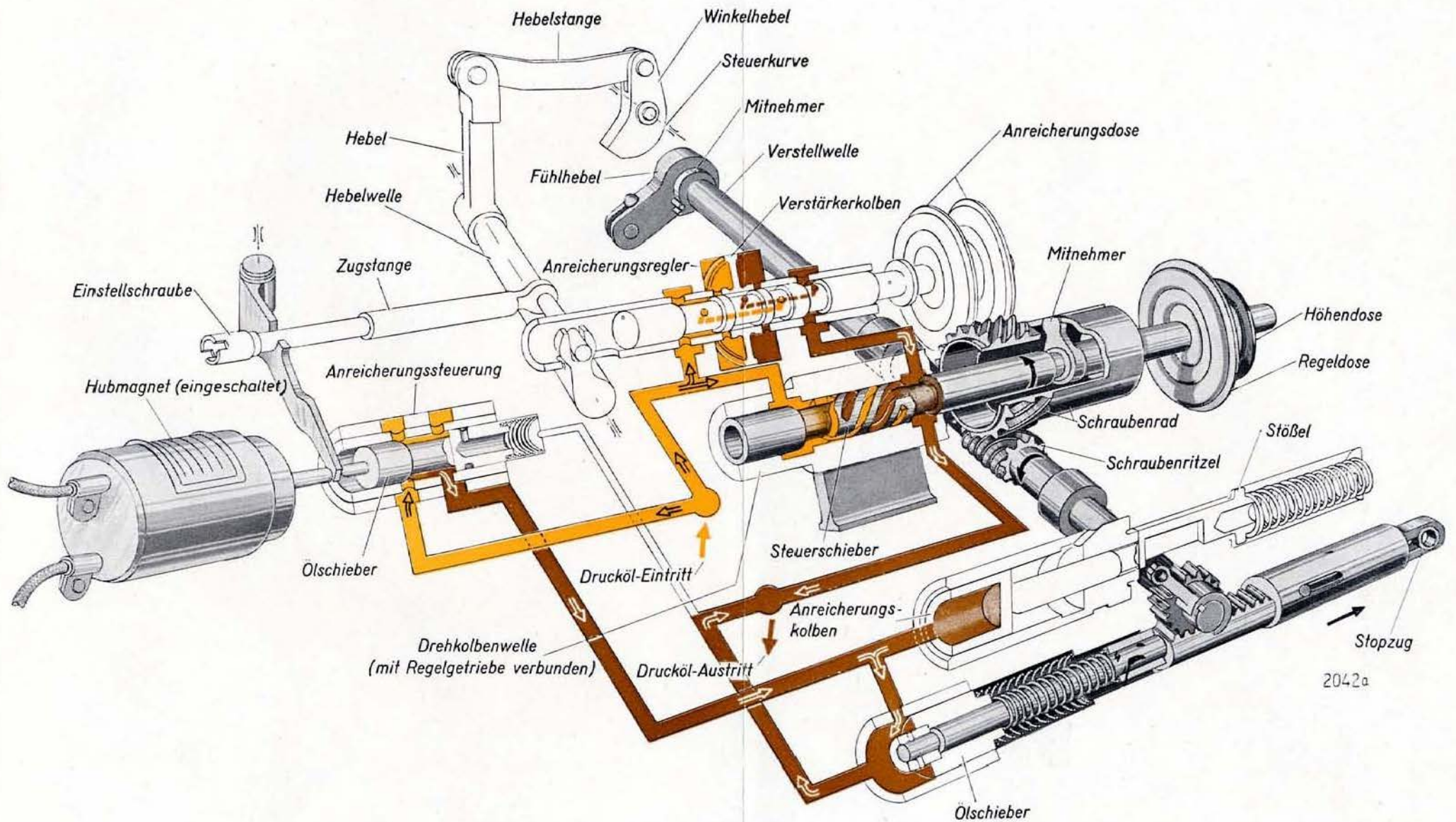


Abb.30: Einspritzpumpenregler-Schema -- Stopstellung bei eingeschaltetem Hubmagneten

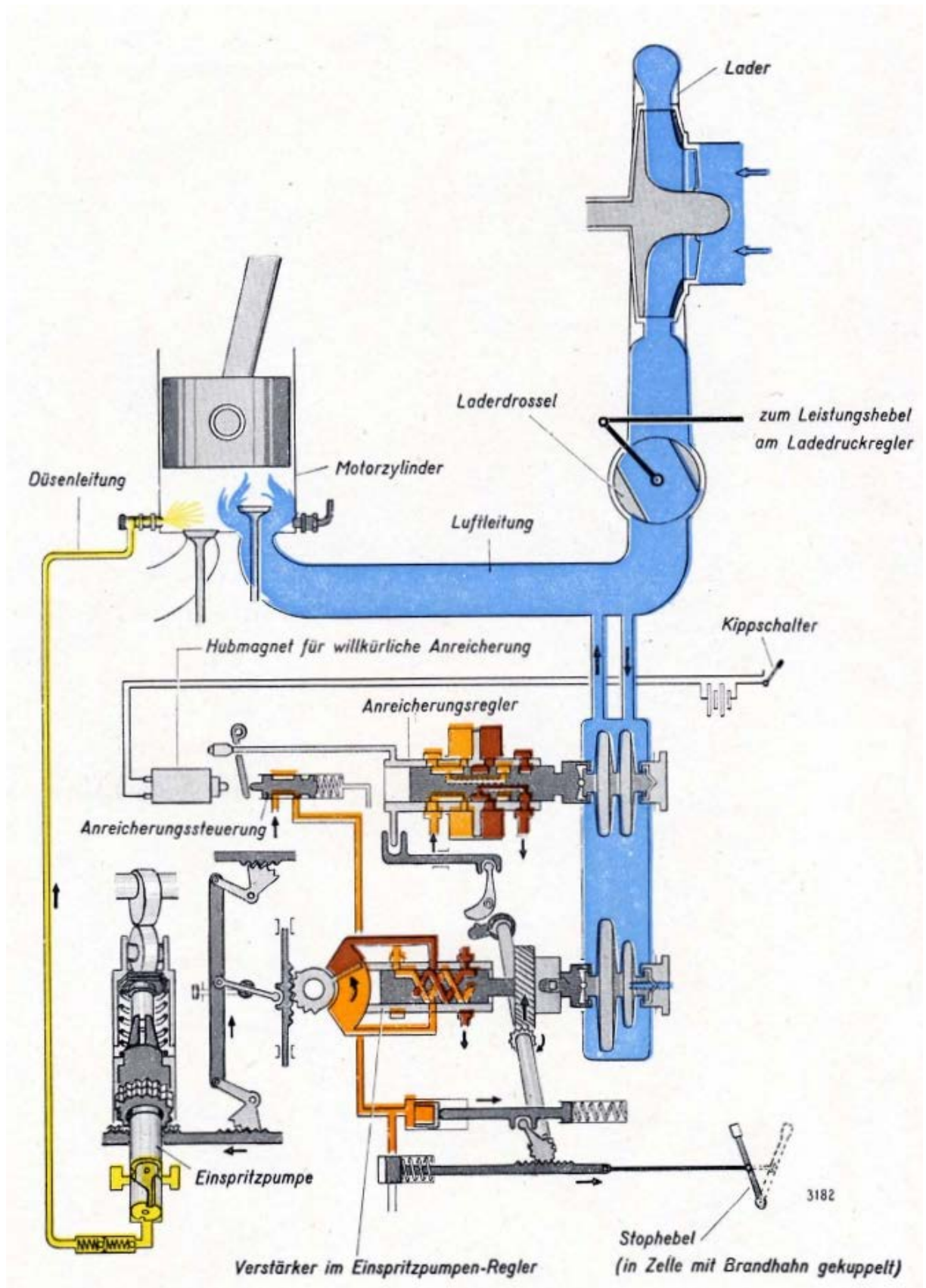


Abb. 31: Schematische Darstellung der Gemischregelung