(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. Juli 2001 (26.07.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/53688 A2

(51) Internationale Patentklassifikation[7]: F02M 39/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/12777

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Dezember 2000 (15.12.2000)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
100 01 828.9 18. Januar 2000 (18.01.2000) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **FEV MOTORENTECHNIK GMBH** [DE/DE]; Neuenhofstrasse 181, 52078 Aachen (DE).

(72) Erfinder; und

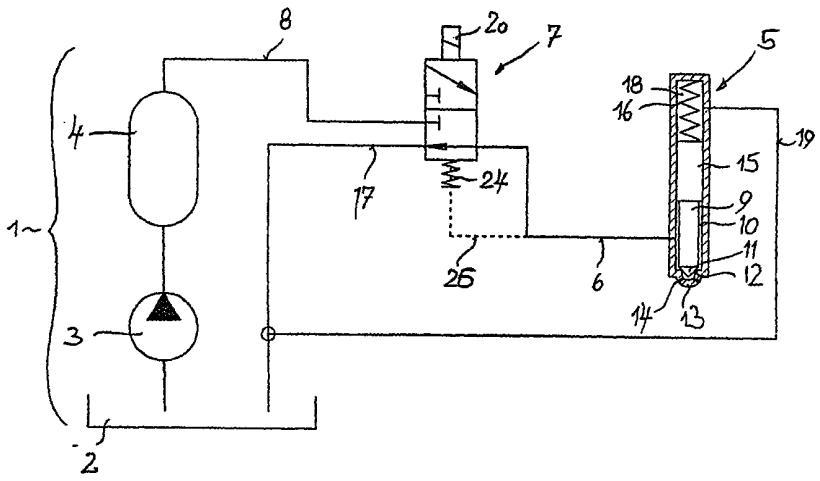
(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **GÜRICH, Gunter** [DE/DE]; Eburonenwinkel 6, 52074 Aachen (DE). **LAUMEN, Hermann, Josef** [DE/DE]; Nygen 21, 52525 Heinsberg (DE). **SCHMÜCKER, Karl, Joachim** [DE/BE]; Johbergstr. 12, B-4731 Eynatten (BE).

(74) Anwalt: **MAXTON & LANGMAACK**; Postfach 51 08 06, 50944 Köln (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DIRECTLY CONTROLLED FUEL INJECTION DEVICE FOR A RECIPROCATING INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: DIREKTGESTEUERTE KRAFTSTOFFEINSPRITZEINRICHTUNG FÜR EINE KOLBENBRENNKRAFTMASCHINE



(57) Abstract: The invention relates to a fuel injection device for a reciprocating internal combustion engine, comprising a nozzle part (5) with an injection nozzle (13), said nozzle part having a pressure chamber (10) in which a nozzle needle (9) that closes the injection nozzle (13) is guided. Said nozzle needle can be moved into the opening position when subjected to pressure by the fuel to be injected. The pressure chamber (10) is connected to a control part (7) by a connecting channel (6), this control part having a valve chamber (21) into which the connecting channel (6) and a high pressure channel (8) that is connected to a fuel supply (4) open, and in which a valve body (23) is guided. Said valve body (23) acts as a piston system and is held in the closing position by a valve spring and a valve seat (22). The nozzle part also comprises an actuator part (20) which is functionally connected to the valve body (23) and which when activated, moves said valve body in the opening direction and releases the through-flow from the high pressure channel (8) into the connecting channel (6).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung für eine Kolbenbrennkraftmaschine mit einem Düsenteil (5) mit Einspritzdüse (13), der einen Druckraum (10) aufweist, in den eine die Einspritzdüse (13) verschließende Düsennadel (9) geführt ist, die bei Druckbeaufschlagung

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/53688 A2

(81) Bestimmungsstaaten *(national)*: JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten *(regional)*: europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

durch den einzuspritzenden Kraftstoff in Öffnungsstellung bewegbar ist, wobei der Druckraum (10) über einen Verbindungskanal (6) mit einem Steuerteil (7) in Verbindung steht, der einen Ventilraum (21) aufweist, in den der Verbindungskanal (6) einerseits und ein mit einer Kraftstoffversorgung (4) verbundener Hochdruckkanal (8) andererseits einmündet und in dem ein als Kolbensystem wirkender Ventilkörper (23) geführt ist, der durch eine Ventilfeder (24) auf einem Ventilsitz (22) in Schließstellung gehalten wird, und mit einem Aktuator (20), der mit dem Ventilkörper (23) in Wirkverbindung steht und diesen bei Aktivierung in Öffnungsrichtung bewegt und den Durchfluß vom Hochdruckkanal (8) in den Verbindungskanal (6) freigibt.

Bezeichnung: Direktgesteuerte Kraftstoffeinspritzeinrichtung für eine Kolbenbrennkraftmaschine

Beschreibung

Als sogenannte Common-Rail-Systeme ausgebildete Kraftstoffeinspritzeinrichtungen für eine Kolbenbrennkraftmaschine mit Kraftstoffdirekteinspritzung bestehen im wesentlichen aus einem Düsenteil mit Einspritzdüse, der eine die Einspritzdüse verschließende Düsennadel aufweist, die bei Druckbeaufschlagung durch den einzuspritzenden Kraftstoff über eine Servohydraulik in Öffnungsstellung bewegbar ist. Der erforderliche Vordruck wird über den Hochdruckteil der Kraftstoffversorgung, d. h. den Common-Rail abgenommen. Über die Druckvorgabe im Common-Rail läßt sich sehr flexibel der Einspritzdruck beeinflussen und über die Ansteuerung eines Servoventils und damit der Düsennadel lassen sich Einspritzzeitpunkt und Einspritzdauer ebenfalls mit hoher Flexibilität einstellen.

Will man jedoch mit den vorbekannten Systemen nicht nur die Einspritzmenge durch eine entsprechende Steuerung der Öffnungszeit bemessen sondern will man auch die Einspritzrate formen, d. h. die Einspritzmenge je Zeiteinheit während der Öffnungszeit variieren, so muß der Hub der Düsennadel gesteuert werden. Hierbei wird aber die hydraulische Energie des fliessenden Kraftstoffs unmittelbar vor dem Einspritzloch der Einspritzdüse durch die sogenannte Sitzdrosselung, die vor allem bei geringerem Nadelhub auftritt, in Turbulenzen umgesetzt, da der sich hubabhängig ändernde freie Strömungsquerschnitt zwischen der Düsennadel und dem Düsennadelsitz als Drossel wirkt. Die hierbei auftretende erhöhte Turbulenz des fliessenden Kraftstoffs im Bereich des Einspritzlochs beeinflußt die Gemischbildung, so daß sich keine "echte" Ratensteuerung ergibt. Dies ist bei der Kraftstoffdirekteinspritzung, d. h. beim Einspritzen des Kraftstoffs unmittelbar in den Zylinderraum nachteilig. Als Folge vorbeschriebenen Turbulenzerhöhung ist bei kleinen Einspritzmengen beispielsweise

ein düsennahes Brennen der eingespritzten Kraftstoffmenge festgestellt worden, durch das der Ablauf des Verbrennungsprozesses nachteilig beeinflußt wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung für eine Kraftstoffdirekteinspritzung zu schaffen, die es ermöglicht, während der jeweiligen Einspritzzeit die Einspritzmenge zu variieren, d. h. die Einspritzrate zu formen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung für eine Kolbenbrennkraftmaschine mit einem Düsenteil mit Einspritzdüse, der einen Druckraum aufweist, in dem eine die Einspritzdüse verschließende Düsennadel geführt ist, die bei Druckbeaufschlagung durch den einzuspritzenden Kraftstoff in Öffnungsstellung bewegbar ist, wobei der Druckraum über einen Verbindungskanal mit einem Steuerteil in Verbindung steht, der einen Ventilraum aufweist, in den der Verbindungskanal einerseits und ein mit der Kraftstoffversorgung verbundener Hochdruckkanal andererseits einmündet und in dem ein als Kolbensystem wirkender Ventilkörper geführt ist, der durch eine Ventilfeder auf einen Ventilsitz in Schließstellung gehalten wird, und mit einem Aktuator, der mit dem Ventilkörper in Wirkverbindung steht und diesen bei Aktivierung in vorgebbare Öffnungsstellungen bewegt und einen entsprechenden Durchfluß vom Hochdruckkanal in den Verbindungskanal freigibt. Besonders zweckmäßig ist es, wenn in einer ausgestaltung der Ventilkörper an einem dem Aktuator abgekehrten Ende mit einem Kompensationskolben versehen ist, der über den Druck im Verbindungskanal beaufschlagbar ist.

Bei der erfindungsgemäßen Kraftstoffeinspritzeinrichtung ist der Düsenteil so ausgebildet, daß bei Druckbeaufschlagung die Düsennadel den Durchtrittsquerschnitt zu den Düsenöffnungen möglichst vollständig freigibt, wobei Zwischenstellungen nicht vorgesehen sind. Die Steuerung des Volumenstroms erfolgt über den im Steuerteil vorgesehenen Ventilkörper, des-

sen Hub durch eine entsprechende Ansteuerung des Aktuators variiert werden kann. Der Ventilkörper ist hierbei vorzugsweise als Sitzventil ausgebildet, um die Dichtigkeit im geschlossenen Zustand zu gewährleisten. Der Aktuator ist hierbei Zweckmäßig so ausgebildet, daß er in bezug auf seinen Stellweg proportional zur aufgebrachten Stellenergie verstellend ausgebildet ist. Hierzu eignen sich insbesondere elektrische Aktuatoren, die in bezug auf ihren Stellweg spannungsproportional verstellend ausgebildet sind, wie sie beispielsweise durch sogenannte Festkörperaktuatoren gegeben sind. Als Festkörperaktuatoren kommen hier insbesondere piezo-elektrische Aktuatoren aber auch magneto-striktive Aktuatoren in Betracht. Auch elektromagnetisch arbeitende Aktuatoren können eingesetzt werden. Hierb ist die Anordnung eines in seinem Durchmesser entsprechend bemessenen Kompensationskolbens vorteilhaft, der über den Druck im Verbindungkanal zum Düsenteil beaufschlagbar ist und der dementsprechend gegen die Kraft des Aktuators wirkt. Damit ergibt sich eine sogenannte Druckrückkopplung, die eine gute Regelbarkeit des von der Hochdruckseite in der Verbindungskanal fließenden Volumenstroms und damit eine gute Formung der Einspritzrate ermöglicht.

In Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß der Steuerteil ein zur Niederdruckseite der Kraftstoffversorgung öffnendes Entlastungsventil aufweist, das dem Verbindungskanal zugeordnet ist, und das bei Aktivierung des Aktuators schließt. Durch die Anordnung eines derartigen Entlastungsventils ist dafür Sorge getragen, daß unmittelbar beim Aufsetzen des Ventilkörpers im Steuerteil auf seinem Ventilsitz der Druck im Verbindungskanal zum Düsenteil schnell abgebaut wird, so daß auch die Düsennadel sehr schnell in ihre Schließstellung geführt wird.

In besonders vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist ferner vorgesehen, daß der Steuerteil einen Druckteiler aufweist, der mit dem Hochdruckkanal einerseits und dem ein Kol-

bensystem bildenden Ventilkörper andererseits in Verbindung steht und der über den Aktuator stellbar ist. Durch die Anordnung eines derartigen Druckteilers im Steuerteil ist es möglich, den jeweils gewünschten Einspritzdruck dynamisch einzustellen. Je nach Ausgestaltung kann die Anordnung so getroffen werden, daß sich je nach Art des verwendeten Aktuators über den Stellweg des Aktuators oder über die Kraft des Aktuators der Einspritzdruck vor einer druckgesteuerten Einspritzdüse einstellen läßt.

Weitere Merkmale und Ausgestaltungen der Erfindung sind den Patentansprüchen und der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen zu entnehmen.

Die Erfindung wird anhand schematischer Zeichnungen von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Schaltschema einer Kraftstoffeinspritzeinrichtung,

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel für ein Kraftstoffeinspritzventil mit Düsenteil und Steuerteil,

Fig. 3 eine abgewandelte Ausführungsform des Steuerteils,

Fig. 4 eine weitere Abwandlung des Steuerteils,

Fig. 5 in größerem Maßstab das Detail A in Fig. 4,

Fig. 6 eine abgewandelte Ausführungsform mit einem in den Steuerteil integrierten Druckteiler,

Fig. 7 den Druckteiler gem. Fig. 6 in größerem Maßstab,

Fig. 8 eine Ausführungsform des Druckteilers mit Stützkolben,

Fig. 9 eine Ausführungsform des Druckteilers mit hydraulischem Wegübersetzer,

Fig. 10 eine Ausgestaltung der Kraftstoffeinspritzdüse mit einer Zwei-Feder-Abstützung,

Fig. 11 eine Ausführungsform der Kraftstoffeinspritzdüse mit Ausweichkolben.

In Fig. 1 ist in Form eines Fließschemas eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung zur Direkteinspritzung des Kraftstoffs in die einzelnen Zylinder einer Kolbenbrennkraftmaschine dargestellt. Die Kraftstoffeinspritzeinrichtung weist eine Kraftstoffversorgung 1 auf, die im wesentlichen durch einen Kraftstofftank 2, eine Hochdruckpumpe 3 und einen Hochdruckraum 4, dem sogenannten Common Rail, gebildet wird.

Jeder Zylinder der Kolbenbrennkraftmaschine ist mit einem Düsenteil 5 versehen, der über einen Verbindungskanal 6, ein Steuerteil 7 und einen Hochdruckkanal 8 mit der Kraftstoffversorgung 1 in Verbindung steht. Der Steuerteil 7 steht außerdem mit einer hier nicht näher dargestellten Motorsteuerung in Verbindung, durch die der als Steuerventil wirkende Steuerteil 7 so angesteuert werden kann, daß zum Einspritzzeitpunkt die Verbindung zwischen Hochdruckkanal 8 und Verbindungskanal 6 geöffnet wird und der unter Hochdruck stehende Kraftstoff den Düsenteil 5 beaufschlagen kann. Die spezielle Funktionsweise wird nachstehend noch näher beschrieben.

Der Düsenteil 5 wird im wesentlichen gebildet durch eine Düsennadel 9, die in einem Druckraum 10 geführt ist, in den der Verbindungskanal 6 einmündet. Die Düsennadel 9 weist eine Nadelspitze 11 auf, die mit einem entsprechenden Sitz 12 der Einspritzdüse 13 zusammenwirkt und als Ventil wirkt. Die Einspritzdüse 13 ist mit entsprechenden Düsenöffnungen 14 versehen. Auf der der Nadelspitze 11 abgekehrten Seite ist die Düsennadel 9 mit einem Kolbenkörper 15 versehen, auf den eine

Schließfeder 16 in Schließrichtung einwirkt. Wird über den Steuerteil 7 die Verbindung zwischen Hochdruckkanal 8 und Verbindungskanal 6 geöffnet und der Druckraum 10 und damit der Kolbenkörper 15 mit Druck beaufschlagt, dann hebt die Düsennadel 9 von ihrem Ventilsitz 12 ab, so daß der Kraftstoff aus dem Druckraum 10 durch die Düsenöffnungen 14 in den Brennraum des betreffenden Zylinders der Kolbenbrennkraftmaschine als feiner Nebel austreten kann. Sobald über den Steuerteil 7 die Verbindung zum Hochdruckraum 4 verschlossen wird, wird über die Schließfeder 16 die Düsennadel 9 wieder auf ihren Ventilsitz gedrückt und die Kraftstoffzufuhr beendet.

Beim Rückführen des Steuerteils 7 in seine Schließstellung wird eine Verbindung zwischen dem Verbindungskanal 6 und einem Niederdruckkanal 17 geöffnet, so daß der Druckraum 10 druckentlastet wird und die Düsennadel schnell in ihrer Schließstellung zurückgeführt werden kann. Der als Einspritzventil wirkende Düsenteil 5 ist bei dem Ausführungsbeispiel so konzipiert, daß er bei Druckbeaufschlagung die Einspritzdüse 13 vollständig öffnet und bei Druckentlastung schließt, so daß entsprechend der Ansteuerung über den Steuerteil 7 ein zeitgenaues Öffnen und Schließen der Einspritzdüse gewährleistet ist. Bei der in Fig. 10 dargestellten Anordnung von zwei Schließfedern 16.1 und 16.2 mit unterschiedlicher Federsteifigkeit ist zu erreichen, daß die Düsennadel 9 druckabhängig zwei Öffnungsstellungen einnehmen kann.

Die Schließfeder 16 ist in einem Leckageraum 18 angeordnet, der über eine Leckageleitung 19 mit der Niederdruckleitung 17 in Verbindung steht, so daß die sich im Leckageraum 18 ansammelnden Leckagemengen in den Kraftstofftank 2 abgeleitet werden können.

Der Aktuator 20 ist vorzugsweise so ausgebildet, daß er in bezug auf seinen Stellweg proportional zur aufgebrachten Stellenergie verstellend ausgebildet ist. Bei einer Ausbil-

dung des Steuerteils 7 beispielsweise als Drosselventil ist damit die Möglichkeit gegeben, den aus dem Hochdruckkanal 8 in den Verbindungskanal 6 abströmenden Volumenstrom durch entsprechende Einstellung des Öffnungsquerschnittes im Steuerteil 7 zu beeinflussen. Da bei einer Druckbeaufschlagung das als Einspritzventil ausgebildete Düsenteil 5 bei dem dargestellten schematischen Beispiel vollständig öffnet, kann über eine entsprechende Änderung der Einstellung des Steuerteils 7 der dem Düsenteil 5 zugeführte Volumenstrom während der Öffnungsdauer der Einspritzdüse 13 variiert werden.

Aufbau und Funktion des Steuerteils 7 werden nachstehend anhand von verschiedenen Ausführungsbeispielen noch näher erläutert werden.

Der Aktuator 20 wird vorteilhaft als sogenannter Festkörperaktuator ausgebildet. Hierbei wird bevorzugt ein piezoelektrisch arbeitender Aktuator eingesetzt, der in bezug auf seinen Stellweg bzw., aufgrund seiner mechanischen Nachgiebigkeit, seine Stellkraft spannungsproportional verstellend ausgebildet ist. Anstelle eines piezo-elektrischen Aktuator ist auch der Einsatz eines magneto-striktiven Aktuators möglich, der in bezug auf seinen Stellweg stromproportional verstellend ausgebildet ist. Da derartige Festkörperaktuatoren sich durch eine hohe Schaltgeschwindigkeit, gute Regelbarkeit des Stellweges und auch große Stellkräfte auszeichnen und darüber hinaus direkt oder ggf. über eine hydraulische Hubübersetzung auf den Stellteil im Steuerteil 7 einwirken, ergibt sich auch bei nur kurzen Öffnungszeiten für den als Einspritzventil ausgebildeten Düsenteil 5 die Möglichkeit einer gezielten Formung der Einspritzrate, d. h. einer gezielten Veränderung des während der Öffnungszeit des Einspritzventils in den Brennraum des betreffenden Zylinders eingeführten Volumenstroms.

Während es grundsätzlich möglich ist, den Düsenteil 5 und den Steuerteil 7 als getrennte Baueinheiten einzusetzen, ist in

Fig. 2 eine Ausführungsform dargestellt, bei der Düsenteil 5 und Steuerteil 7 mit Aktuator 20 als Baueinheit ausgeführt sind. Der Beschreibung dieses Ausführungsbeispiels sind auch die vorstehend angedeuteten Besonderheiten in der Ausbildung des Steuerteils 7 zu entnehmen. Für bereits beschriebene Bauelemente in Fig. 1 verwendete Bezugszeichen sind auch in Fig. 2 übernommen, so daß hierauf verwiesen werden kann.

Wie aus Fig. 2 zu ersehen ist, besteht die Gesamtanordnung aus einem aus Fertigungsgründen mehrteilig aufgebauten Trägerkörper, der durch eine koaxiale Zuordnung von Düsenteil 5, Steuerteil 7 und Aktuator 20 gekennzeichnet ist.

Der Steuerteil 7 weist eine Ventilanordnung 21.0 mit einem Ventilraum 21.1 auf, in den der Hochdruckkanal 8 einerseits und der Verbindungskanal 6 andererseits einmünden. Der Ventilraum 21.1 ist mit einem Ventilsitz 22 versehen, an dem ein als Kolbensystem ausgebildeter Ventilkörper 23 über eine Ventilfeder 24 mit seinem Ventilteil 23.1 in Schließstellung gehalten wird, so daß der Hochdruckkanal 8 gegenüber dem Verbindungskanal 6 abgesperrt ist. Der für die Ventilfeder 24 erforderliche Bauraum ist mit der Leckageleitung 19 verbunden. Die Teilbereiche 23.1, 23.2, 23.3 sowie 23.4 weisen hierbei zum Teil unterschiedliche Durchmesser auf.

Auf der der Ventilfeder 24 abgekehrten Seite wirkt auf den Ventilkörper 23 der Aktuator 20 ein, der bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel als piezo-elektrischer Aktuator ausgebildet ist. Der piezo-elektrische Aktuator 20 wird im wesentlichen gebildet durch einen Stapel piezo-elektrischer Körper 20.1, die mit einer hier nicht dargestellten, steuerbaren Spannungsquelle verbunden sind und die sich einenends auf einem Gehäuseteil 20.2 abstützen und anderenends auf einen Übertragungskolben 20.3 einwirken. Dem Übertragungskolben 20.3 ist ein Hydraulikraum 20.4 zugeordnet, der in an sich bekannter Weise mit einer Flüssigkeit, hier mit Kraftstoff, gefüllt ist.

Steuerteilseitig ist dem Hydraulikraum 20.4 ein Druckkolben 23.1 zugeordnet, der mit dem Ventilkörper 23 in Verbindung steht. Wird der piezo-elektrische Körper 20.1 mit einer Spannung beaufschlagt, dann wird der Übertragungskolben 20.3 in Richtung auf den Hydraulikraum 20.4 vorgeschoben und dann wird unter Einwirkung der im Hydraulikraum 20.4 enthaltenen Flüssigkeit auch der Druckkolben 23.1 verschoben. Dadurch, daß der Druckkolben 23.1 einen kleineren Durchmesser aufweist als der Übertragungskolben 20.3, ergibt sich somit eine Hubübersetzung, d. h. entsprechend dem Durchmesserverhältnis wird der Ventilkörper 23 über einen gegenüber der spannungsproportionalen Verlängerung des piezo-elektrischen Körpers 20.1 entsprechend längeren Weg verschoben.

Die Längenänderung des piezo-elektrischen Körpers 20.1 erfolgt spannungsproportional, so daß entsprechend der angelegten Spannung der Ventilkörper 23 mit seinem Ventilteil 23.1 vom Ventilsitz 22 abhebt und damit einen entsprechenden Durchflußquerschnitt freigibt, so daß aus dem Hochdruckkanal 8 in den Verbindungskanal 6 ein der Drosselung zwischen Ventilsitz 22 und Ventilteil 23.1 entsprechender Volumenstrom übertreten kann, der dann die Düsennadel 9 anhebt und die Einspritzdüse 13 freigibt. Entsprechend dem am Ventilteil 23.1 freigegebenen Öffnungsquerschnitt und entsprechend der Dauer der Öffnung tritt dann Kraftstoff über die Düsenöffnungen 14 in den Brennraum des betreffenden Zylinders ein. Wird die Spannung am piezo-elektrischen Körper 20.1 zurückgesetzt, wird über die Ventilfeder 24 der Ventilteil 23.1 auf den Ventilsitz 22 gepreßt und somit die Kraftstoffzufuhr unterbunden.

Am düsenseitigen Ende des Ventilkörpers 23 ist ein Kompensationskolben 25 angeordnet, der einen geringeren Durchmesser aufweist als der Ventilteil 23.2. Der Kompensationskolben 25 kann, wie dargestellt, mit dem Ventilkörper verbunden oder vom Ventilkörper getrennt sein. Dieser Kompensationskolben 25

wird über eine Zweigleitung 26 des Verbindungskanals 6 durch den im Verbindungskanal 6 herrschenden Druck beaufschlagt. Dadurch ergibt sich eine Kraftrückkopplung über den Druck in Schließrichtung des Ventilkörpers 23, also gegen die Kraft des Aktuators 20. Hierdurch wird bewirkt, daß der Ventilkörper 23 nicht ausschließlich durch die Ventilfeder 24 gegen die Kraft des Aktuators 20 wirkt, sondern durch die Kraftrückkopplung ist sichergestellt, daß sich der Ventilkörper 23 während seiner Längsbewegung sowohl in Öffnungsrichtung als auch in Schließrichtung spielfrei und ohne Verzögerung jeder Längenänderung des Aktuators anpaßt und somit eine energieabhängige im Falle eines piezo-elektrischen Aktuators spannungsabhängige, Längenänderung exakt auf die Bewegung des Ventilkörpers 23 übertragen werden kann. Schwingungsbewegungen werden unterdrückt. Durch die Abstimmung der verschiedenen, der Druckbeaufschlagung ausgesetzten Durchmesser bzw. Flächen, so der Durchmesser der Führungsteile 23.3 und 23.4 des Ventilkörpers und dem Durchmesser des Kompensationskolbens 25, läßt sich der Grad der Kraftrückkopplung dimensionieren. Bei einem großen Rückkoppelgrad wird die Regelbarkeit besser, erfordert aber kräftigere Aktuatoren.

Diese Kraftrückkopplung erlaubt es, anstelle eines piezoelektrischen Aktuators einen einfachen elektromagnetischen Aktuator einzusetzen, bei dem die Stellkraft proportional zur Energieeinspeisung ist und damit auch eine definierte Beaufschlagung der Einspritzdüse möglich ist.

Der Niederdruckkanal 17, der sich mit einer Teillänge 17.1 im Ventilkörper 23 fortsetzt und den Niederdruckkanal 17 mit dem Verbindungskanal 6 verbindet, ist mit einem Entlastungsventil 27 versehen, das hier als einfaches Kugelventil dargestellt ist. Da zwischen dem Übertragungskolben 20.3 und dem Druckkolben 23.1 im Hydraulikraum 20.4 eine Spannfeder 20.5 angeordnet ist, wird im Ruhezustand der Druckkolben 23.1 über eine Spannfeder 20.5 auf die als Entlastungsventil 27 wirkende Kugel aufgepreßt und diese so in Schließstellung gehalten.

Wird der Aktuator 20 beaufschlagt und der Ventilkörper 23 in Öffnungsstellung verschoben (Pfeil 28), wird das Entlastungsventil 27 in Schließstellung gehalten. Beim Abschalten der elektrischen Spannung am Aktuator 20 verkürzt dieser schlagartig seine Länge, so daß aufgrund der Trägheit und des im Verbindungskanal 6 anstehenden Einspritzdruckes der Übertragungskolben 23.1 von der Kugel angehoben wird und so der Durchtrittsquerschnitt freigegeben wird. Damit kann sich der im Verbindungskanal 6 noch anstehende Einspritzdruck über den Niederdruckkanal 17 zum Kraftstofftank 2 hin schnell abbauen abbauen, so daß auch die Düsennadel 9 über die Schließfeder 16 zeitgenau in Schließstellung gebracht wird.

Durch eine entsprechende Abstimmung des Entlastungsventils kann erreicht werden, daß der Druck vor der Düse nicht vollständig abgebaut wird, sondern ein Restdruck verbleibt, wodurch eine Dampfblasenbildung vermieden wird.

In Fig. 3 ist eine abgewandelte Ausführungsform des anhand von Fig. 2 beschriebenen Steuerteils 7 dargestellt. Gleiche Bauelementen sind durch gleiche Bezugszeichen gekennzeichnet. Der Aufbau der Ausführungsform gem. Fig. 3 entspricht im wesentlichen dem anhand von Fig. 2 beschriebenen Aufbau. Der Unterschied besteht zum einen darin, daß der Ventilkörper 23 einstückig ausgebildet ist und aktuatorseitig der Druckkolben 23.1 fest mit dem Ventilkörper 23 verbunden. Der Druckkolben 23.1 weist einen kleineren Durchmesser auf als die Kolbenteile 23.2 und 23.3.

Bei der Ausführungsform gem. Fig. 3 ist als Entlastungsventil 27 ein hydraulisches Sitzventil vorgesehen, dessen Kolbenteil 27.1 eine Ventilnadel 27.2 auf ihren Dichtsitz preßt, so daß die Verbindungsleitung 6 gegenüber dem Niederdruckkanal 17 abgesperrt ist. Bei Betätigung des Ventils wird über den Druckaufbau im Hydraulikraum 20.4 die Schließkraft des Entlastungsventil 27 druckproportional erhöht und so das Entlastungsventil 27 zuverlässig gegenüber dem Einspritzdruck im

Verbindungskanal 6 in Schließstellung gehalten. Wird der Aktuator spannungslos gesetzt und verkürzt seine Länge, dann reicht der Druckabbau im Hydraulikraum 20.4 einerseits und der noch unter Einspritzdruck stehende Kraftstoff im Verbindungskanal 6 aus, um das Entlastungsventil 27 kurzfristig gegen die Kraft einer als Tellerfeder ausgebildeten Schließfeder 27.3 zu öffnen, um so auch den Druckabbau im Verbindungskanal 6 über den Niederdruckkanal 17 zu gewährleisten.

In Fig. 4 ist eine weitere Ausgestaltung des Steuerteils 7 dargestellt. Der Aufbau entspricht im wesentlichen dem Aufbau der anhand von Fig. 3 beschriebenen Ausführungsform, so daß hierauf verwiesen werden kann. Der Unterschied besteht hierbei lediglich darin, daß kein gesondertes Entlastungsventil vorgesehen ist, sondern daß der Ventilkörper 23 im Bereich seines als Druckkolben 23.1 dienenden Endes als Entlastungsventil 27 konzipiert ist und hierzu als Schieberventil ausgebildet ist. Wie aus der vergrößerten Darstellung in Fig. 5 zu ersehen, ist das als Druckkolben 23.1 dienende Ende des Ventilkörpers 23 an seinem dem Ventilraum 21 zugekehrten Ende konisch zulaufend geformt oder mit einer schrägen Planfläche oder Nut versehen und zwar so, daß in Schließstellung des Ventilkörpers 23 das aktuatorseitige Ende des Konusteils 27.4 in einen mit dem Niederdruckkanal 17 in Verbindung stehenden Ringraum 27.5 hineinragt und hierbei einen Durchtrittsquerschnitt freiläßt.

Sobald über den Aktuator 20 der Ventilkörper 23 in Öffnungsstellung (Pfeil 28) verschoben wird, wird der Ringraum 27.5 gegenüber dem Ventilraum 21 abgeschlossen, so daß sich entsprechend der Öffnung des Durchtrittsquerschnittes am Ventilsitz 22 Kraftstoff aus dem Hochdruckkanal 8 in den Verbindungskanal 6 überströmen kann und hierbei den Einspritzdruck aufbaut.

Wird der Aktuator 20 spannungsfrei gesetzt, dann bewegt sich der Ventilkörper 23 unter der Kraftwirkung der Schließfeder

24 und der Druckbeaufschlagung über den Kompensationskolben 25 in Richtung auf den Ventilsitz 22. Hierbei wird dann der Durchtrittsquerschnitt am Ringraum 27.5 freigegeben, so daß der Druck im Verbindungskanal 6 abgebaut werden kann. Die Anordnung ist hierbei so bemessen, daß die Freigabe des Durchtrittsquerschnitts zum Ringraum 27.5 praktisch gleichzeitig mit dem Aufsitzen des Sperrteils 23.2 auf dem Ventilsitz 22 freigegeben wird.

Auch bei der von Fig. 3 beschriebenen Ausführungsform des Entlastungsventils 27 kann durch entsprechende Dimensionierung der Druckabbau am Einspritzventil so geführt werden, daß eine Dampfblasenbildung vermieden wird. Bei der in Fig. 4 beschriebenen Ausführungsform kann dies durch ein zusätzliches, an Leitung 17 angeschlossenes Druckbegrenzungsventil erreicht werden.

Die anhand von Fig. 3 und 4 beschriebenen Ausführungsformen des Steuerteils 7 können in gleicher Weise eingesetzt werden, wie dies anhand von Fig. 2 beschrieben ist, nämlich als Baueinheit kombiniert mit einem Düsenteil 5. Es ist aber auch möglich, wie dies aus der Prinzipdarstellung gem. Fig. 1 erkennbar ist, für alle Bauformen des Steuerteils 7 eine Anordnung zu treffen, bei der der Steuerteil 7 vom Düsenteil 5 getrennt angeordnet ist. Dementsprechend ist in der schematischen Darstellung gem. Fig. 1 die zum Steuerteil 7 führende Zweigleitung 26 strichpunktiert angedeutet.

In den nachfolgenden Figuren 6 bis 9 ist eine abgewandelte Ausführungsform der Einspritzdüse gem. Fig. 2 in Form eines Fließbildes dargestellt, wobei nur die funktionswesentlichen Teile in Einzelheiten wiedergegeben sind. Gleiche Bauteile sind wiederum mit gleichen Bezugszeichen versehen, so daß auf die vorstehende Beschreibung der anderen Ausführungsbeispiele sowohl hinsichtlich des Aufbaus als auch hinsichtlich der Funktion verwiesen werden kann.

Bei der Ausführungsform gem. Fig. 6 ist der Ventilanordnung 21.0 ein sogenannter Druckteiler 30 vorgeschaltet. In Fig. 7 ist in größerem Maßstab eine Ausführungsform des Druckteilers 30 dargestellt. Der Druckteiler besteht im wesentlichen aus einem Kolbenkörper 31, der mit seinem oberen Ende mit dem Aktuator 20 in Wirkverbindung steht (Pfeil 20 in Fig. 7) und der an seinem unteren Ende sich über einen Federteller 32 auf einer Rückstellfeder 33 abstützt. Der Kolbenkörper 31 ist mit einem Ventilkörper 34 versehen, der mit einem ersten Ventilsitz 35.1 zusammenwirkt. In druckentlastetem Zustand wird der Ventilkörper 34 durch die Rückstellfeder 33 auf den ersten Ventilsitz 35.1 gedrückt.

Dem Ventilkörper 34 ist auf seiner der Rückstellfeder 33 zugekehrten Seite ein zweiter Ventilsitz 35.2 zugeordnet, der den Ringraum 37 mit dem Abströmraum 39 verbindet, und den der Ventilkörper 34 umso mehr verschließt, je weiter er sich in Richtung des Pfeils 20 bewegt. Somit bildet der Ventilkörper 34 mit den Ventilsitzen 35.1 und 35.2 ein 3/2-Wege-Proportionalventil mit 100% negativer Überdeckung. Durch diese Anordnung steigt der Druck in dem Ringraum 37 annähernd linear mit dem Steilweg des Ventilkörpers 34 von 0 bar, wenn der Ventilkörper an dem Ventilsitz 35.1 anliegt, bis zu dem in der Leitung 8 herrschenden Druck, wenn der Ventilkörper an dem Ventilsitz 35.2 anliegt. Abhängig vom Durchmesser des Ventilsitzes 35.2 erfolgt eine Rückkoppelung des Druckes in dem Ringraum 37 auf den Aktuator 20, so daß auch ein elektromagnetischer Aktuator eingesetzt werden kann. Der Ventilsitz 35.2 kann als Faßsitz ausgeführt sein, um die Anforderungen an die Fertigungsgenauigkeit zu minimieren.

Dem Ventilkörper 34 ist ein erster Ringraum 36 zugeordnet, in den eine Zweigleitung 8.1 der Hochdruckleitung einmündet und der durch die durch den Ventilsitz 35.1 definierten Schließstellung abgeschlossen ist. Der Ventilkörper 35 ist in einem zweiten Ringraum 37 angeordnet, der über eine Überströmleitung 8.2 mit einem Druckraum 38 in Verbindung steht, der

durch den Ventilkörper 23 auf seiner der Rückstellfeder 24 abgekehrten Seite begrenzt wird. Der Ventilkörper 34 ist ferner im Bereich der Rückstellfeder 33 ein Abströmraum 39 zugeordnet, der über eine Abströmleitung 40 mit dem Niederdruckkanal 17 verbunden ist.

Der Druckraum 38 steht über eine Leitung mit einem Druckraum 41 in Verbindung, der dem Kolbenteil 27.1 des Entlastungsventils 27 zugeordnet ist.

Wird über einen piezo-elektrischen Aktuator der Ventilkörper 34 von seinem Ventilsitz 35.1 um das durch die Energiebeaufschlagung vorgegebene Maß abgehoben, dann strömt aus dem Hochdruckkanal 8 über die Anschlußleitung 8.1 Kraftstoff mit entsprechend hohem Druck in den Ringraum 36 ein und strömt über die Verbindungsleitung 8.2 in den Druckraum 38 über. Hierdurch wird der Ventilkörper 23 gegen die Kraft der Rückstellfeder 24 druckproportional verschoben, und der Durchfluß zum Verbindungskanal 6 zum Einspritzventil 5 entsprechend geöffnet. Der in dem Verbindungskanal 6 herrschende Einspritzdruck wirkt auch auf die der Feder 24 zugewandten Seite des Ventilkörpers 23, deren druckbelastete Fläche genauso groß ist wie die druckbelastete Fläche der dem Raum 38 zugewandten Seite des Ventilkörpers. Da die Kraft der Feder 24 im Vergleich zu den anliegenden Druckkräften klein ist, öffnet der Ventilkörper 23 immer so weit, bis die Drücke in dem Raum 38 und dem Verbindungskanal 6 gleich sind.

Aufgrund der oben beschriebenen Funktion des Druckteilers 30 kann der Einspritzdruck während der Einspritzung moduliert werden, indem der Aktuator 20 genau soweit angesteuert wird, daß er den Ventilkörper 34 in eine Position zwischen den beiden Ventilsitzen 35.1 und 35.2 bewegt, die in dem Ringraum 37 und somit auch in dem Raum 38 den Druck einstellt, der als Einspritzdruck gewünscht wird. Der Druck in dem Ringraum 3 steht ebenfalls im Druckraum 41 am Kolbenkörper 27.1 des Entlastungsventils 27 an, so daß dieser Druck die Schließfeder

27.3 in Schließrichtung unterstützend auf den Ventilkörper 27.2 wirkt.

Wird der Aktuator 20 deaktiviert, sitzt der Ventilkörper 34 des Druckteilers 30 auf seinem Ventilsitz 35.1 auf, so daß die Druckräume 41 und 38 druckentlastet werden und somit die Ventilanordnung 21.0 schließt. Der im Verbindungskanal 6 noch anstehende Druck kann über die Leitung 17.1 und das Entlastungsventil 27 sehr schnell abgebaut werden, so daß die Ventilfeder 16 die Düsennadel 9 sehr schnell in Schließstellung bringt, wobei die Ventilfeder 27.3 so ausgelegt ist, daß zum einen ein schnellstmöglicher Druckabbau erfolgt, zum anderen aber ein Restdruck verbleibt, so daß eine Dampfblasenbilden vermieden wird.

Die Ausführungsform gem. Fig. 8 ist hinsichtlich der Steuerteils 7 in der Funktion identisch aufgebaut wie die vorbeschriebene Ausführungsform gem. Fig. 6 und 7. Der Unterschied besteht lediglich darin, daß der Kolbenkörper 31 des Druckteilers 30 an seinem der Rückstellfeder 33 zugekehrten Ende mit einem Kompensationskolben 42 versehen ist, der über eine von der Überströmleitung 8.2 abzweigenden Zweigleitung mit dem Teildruck beaufschlagbar ist und so eine Druckrückkopplung erfolgen kann. Dies erlaubt es, den Druckteiler 30 in Richtung des Pfeiles über einen elektromagnetischen Aktuator zu betätigen.

Die in Fig. 9 dargestellte Abwandlung entspricht im wesentlichen dem vorbeschriebenen Aufbau gem. Fig. 6 und 7. Der Steuerteil 7 ist hierbei lediglich in der Weise abgewandelt, daß der Druckraum 41 des Entlastungsventils über eine Drossel 43 unmittelbar mit dem Niederdruckkanal 17 verbunden ist und der Druckteiler 30 hierbei als 2/2-Wege-Ventil ausgeführt werden kann.

Bei der Ausführungsform gem. Fig. 9 wird der Druckteiler 30 über den Aktuator 20 nicht direkt beaufschlagt, sondern über

einen hydraulischen Wegübersetzer 43, wie er anhand der Ausführungsform von Fig. 2 und 3 bereits beschrieben ist. Über eine Speiseleitung 44 werden die unvermeidlichen Leckageverluste im Hydraulikraum des hydraulischen Wegübersetzers ausgeglichen. Die beschriebene Wegübersetzung kann mit allen beschriebenen Varianten des Einspritzsystems kombiniert werden.

In Fig. 10 ist eine Ausgestaltung des Einspritzventils mit einer in zwei Stufen öffenbaren Düsennadel 9 dargestellt. Die Düsennadel 9 stützt sich hierbei über eine erste weiche Schließfeder 16.1 am Gehäuse ab. Ferner ist ein Schiebekörper 16.3 vorgesehen, der sich mit seiner der Düsennadel 9 abgekehrten Seite auf einer zweiten härteren Schließfeder 16.2 abstützt. Der Schiebekörper 16.3 weist einen Stützansatz 16.4 auf, der in Schließstellung der Düsennadel 9 um ein geringes Maß a vor dem Ende des Kolbenkörpers 15 der Düsennadel 9 endet.

Wird über den Verbindungskanal 6 der Druckraum 10 mit einem Druck beaufschlagt, der geringer ist als die Rückstellkraft der Rückstellfeder 16.2, dann öffnet das Einspritzventil nur um einen Hub entsprechend dem Maß a. Wenn der Druckraum 10 mit einem Druck beaufschlagt wird, der größer ist als die Rückstellkraft der Schließfeder 16.2, dann wird die Düsennadel 9 entsprechend weit zurückgeschoben und das Einspritzventil vollständig geöffnet.

In Fig. 11 ist eine Abwandlung der Ausführungsform gem. Fig. 10 dargestellt. Bei dieser Ausführungsform stützt sich die Schließfeder 16 auf einem Ausweichkolben 16.5, der auf seiner der Schließfeder abgekehrten Seite einen Druckraum 16.6 aufweist, der über eine Drossel 16.7 an den Verbindungskanal 6 angeschlossen ist. Über diese Anordnung ist eine druckabhängige dynamische Führung der Öffnungsbewegung der Düsennadel 9 möglich.

Mit einer Kraftstoffeinspritzeinrichtung der erfindungsgemäßen Art ist es möglich, auch bei schnelllaufenden Dieselmotoren, insbesondere Dieselmotoren für Personenkraftwagen, die unter Volllast Drehzahlen von 4.000 bis 4.500 Umdrehungen pro Minute aufweisen können und bei denen hohe Einspritzdrücke von etwa 1.500 bis 2.000 bar gegeben sind, kurze Einspritzzeiten von beispielsweise 1,5 Millisekunden zu realisieren und zwar durch eine direkte Ansteuerung des Steuerteils.

Ansprüche

1. Kraftstoffeinspritzeinrichtung für eine Kolbenbrennkraftmaschine mit einem Düsenteil (5) mit Einspritzdüse (13), der einen Druckraum (10) aufweist, in dem eine die Einspritzdüse (13) verschließende Düsennadel (9) geführt ist, die bei Druckbeaufschlagung durch den einzuspritzenden Kraftstoff in Öffnungsstellung bewegbar ist, wobei der Druckraum (10) über einen Verbindungskanal (6) mit einem Steuerteil (7) in Verbindung steht, der einen Ventilraum (21) aufweist, in den der Verbindungskanal (6) einerseits und ein mit einer Kraftstoffversorgung (4) verbundener Hochdruckkanal (8) andererseits einmündet und in dem ein als Kolbensystem wirkender Ventilkörper (23) geführt ist, der durch eine Ventilfeder (24) auf einem Ventilsitz (22) in Schließstellung gehalten wird, und mit einem Aktuator (20), der mit dem Ventilkörper (23) in Wirkverbindung steht und diesen bei Aktivierung in Öffnungsrichtung bewegt und den Durchfluß vom Hochdruckkanal (8) in den Verbindungskanal (6) freigibt.

2. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ventilkörper (23) an seinem dem Aktuator (20) abgekehrten Ende mit einem Kompensationskolben (25) versehen ist, der über den Druck im Verbindungskanal (6) beaufschlagbar ist.

3. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Verbindungskanal (6) mit einem zur Niederdruckseite (17) der Kraftstoffversorgung (4) öffnenden Entlastungsventil (27) versehen ist, das bei Aktivierung des Aktuators (20) geschlossen ist.

4. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Aktuator (20) und dem Ventilkörper (23) eine Spannfeder (20.5) angeordnet ist.

5. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Aktuator (20) einen Übertragskolben (20.3) und das dem Aktuator (20) zugekehrte Ende des Ventilkörpers (23) einen Druckkolben (23.1) aufweist und daß zwischen den beiden Kolben ein Hydraulikraum (20.4) angeordnet ist, wobei der Durchmesser des Druckkolbens (23.1) kleiner ist als der Durchmesser des Übertragungskolbens (20.3).

6. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchmesser des Kompensationskolbens (25) je nach der gewünschten Kraftrückkopplung kleiner, gleich oder größer ist als der Durchmesser des bei Druckbeaufschlagung in Öffnungsrichtung wirkenden Teils des Kolbensystems des Ventilkörpers (23).

7. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Aktuator (20) in bezug auf seinen Stellweg proportional zur aufgebrachten Stellenergie verstellend ausgebildet ist.

8. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein elektrischer Aktuator (20) vorgesehen ist, der in bezug auf seinen Stellweg spannungsproportional verstellend ausgebildet ist.

9. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein elektrischer Aktuator (20) vorgesehen ist, der in bezug auf seinen Stellweg stromproportional verstellend ausgebildet ist.

10. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Steuerteil (7) einen Druckteiler (30) aufweist, der mit dem Hochdruckkanal (6) einerseits und dem ein Kolbensystem bildenden Ventilkörper (23) andererseits in Verbindung steht, der über den Aktuator stellbar ist.

11. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Druckteiler (20) mit dem Entlastungsventil (27) in Wirkverbindung steht.

12. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Entlastungsventil (27) eine in Schließrichtung auf einen Ventilkörper (27.2) wirkende Ventilfeder (27.3) sowie einen Kolben (27.1) aufweist, der in Schließrichtung zusätzlich über den Druckteiler (30) beaufschlagbar ist.

13. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Druckteiler (20) mit einem Druckausgleichskolben (42) versehen ist, der mit dem wirkenden Teildruck gegen die Aktuatorkraft beaufschlagbar ist.

14. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Druckteiler (20) als 3/2-Wege-Ventil ausgeführt ist, wobei die zwei Ventilsitze des 3/2-Wege-Ventils die zwei Drosselstellen des Druckteilers darstellen.

15. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Ventilsitz (35.2) des Druckteilers (20) als Flachsitz ausgeführt ist.

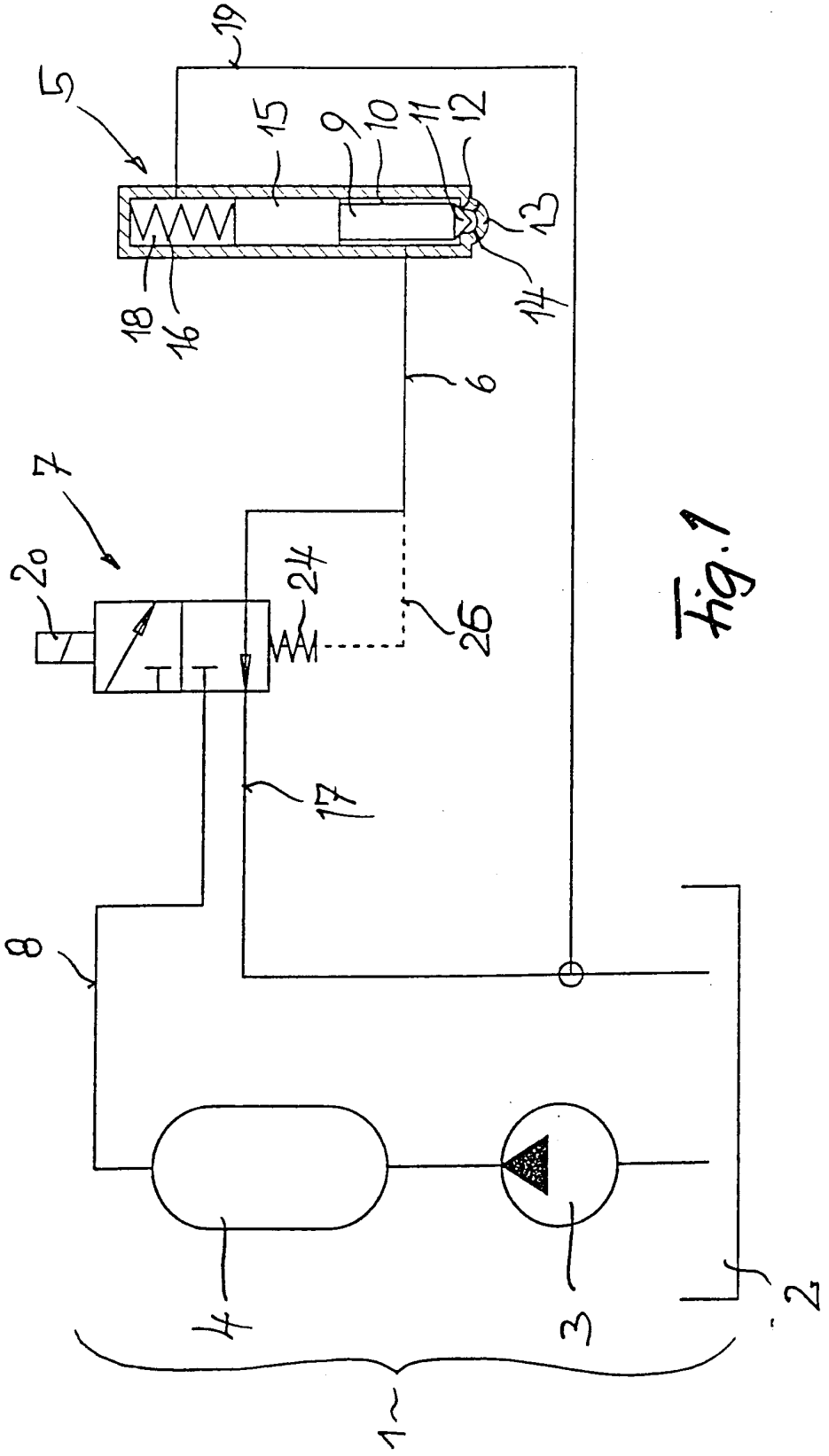


Fig. 1

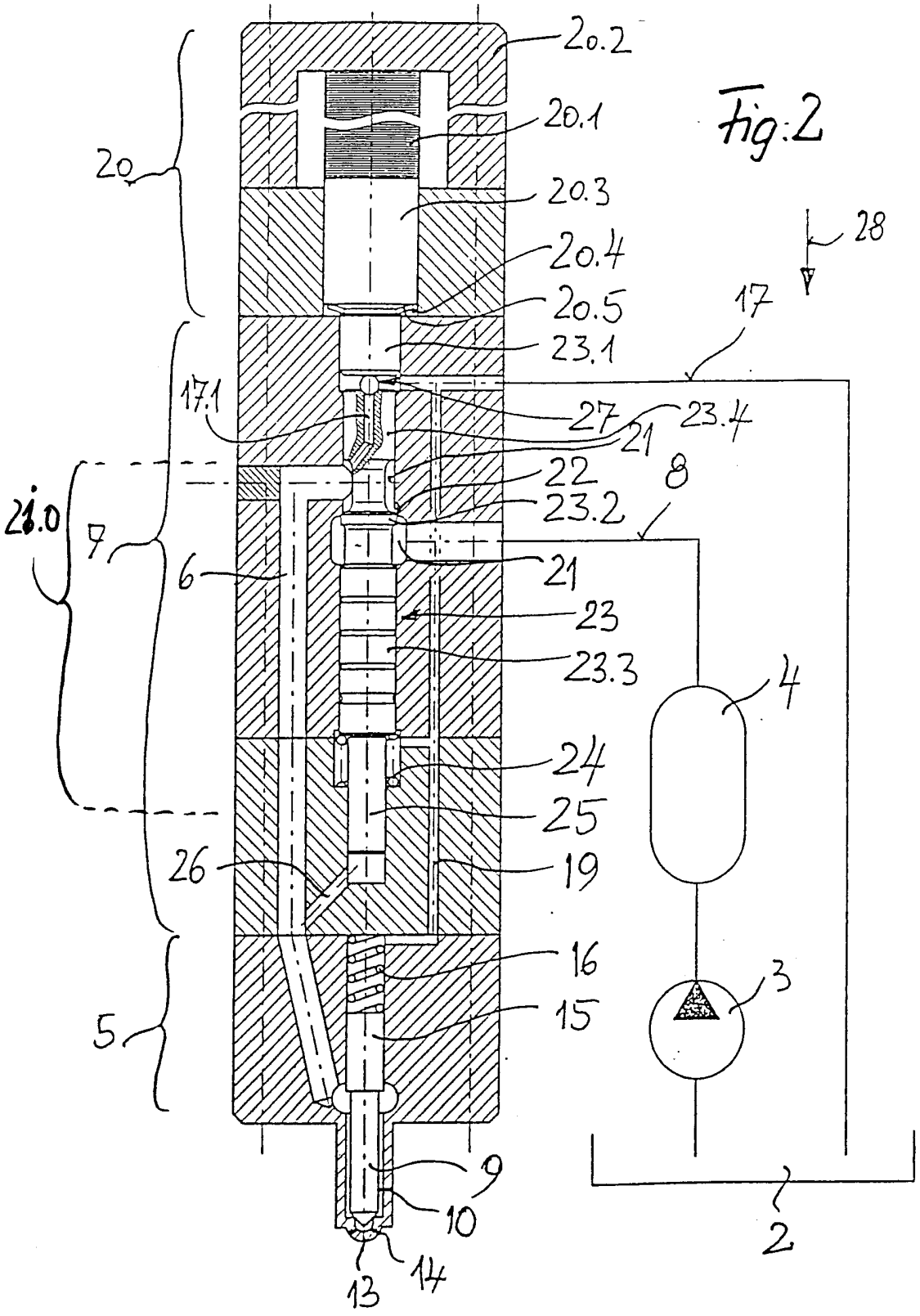

20.2
20.1
20
20.3
20.4
20.5
23.1
17
28
17.1
27
23.4
21
22
23.2
8
21.0
7
6
21
23
23.3
4
24
25
26
19
16
3
15
5
9
10
2
13
14

Fig:2

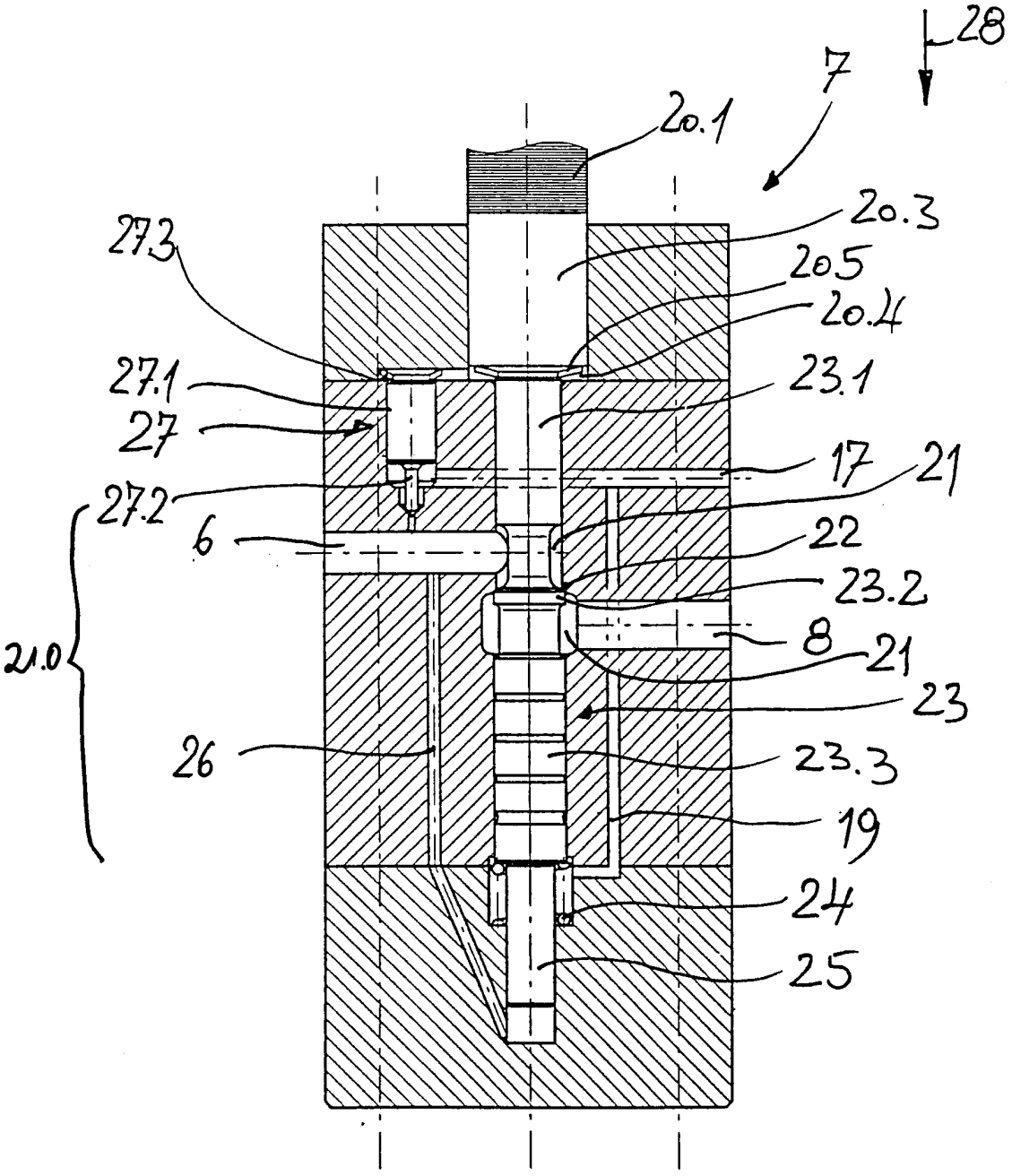

28
7
20.1
20.3
20.5
20.4
27.3
27.1
27
23.1
17
21
27.2
6
22
23.2
8
21
21.0
23
26
23.3
19
24
25

Fig.3

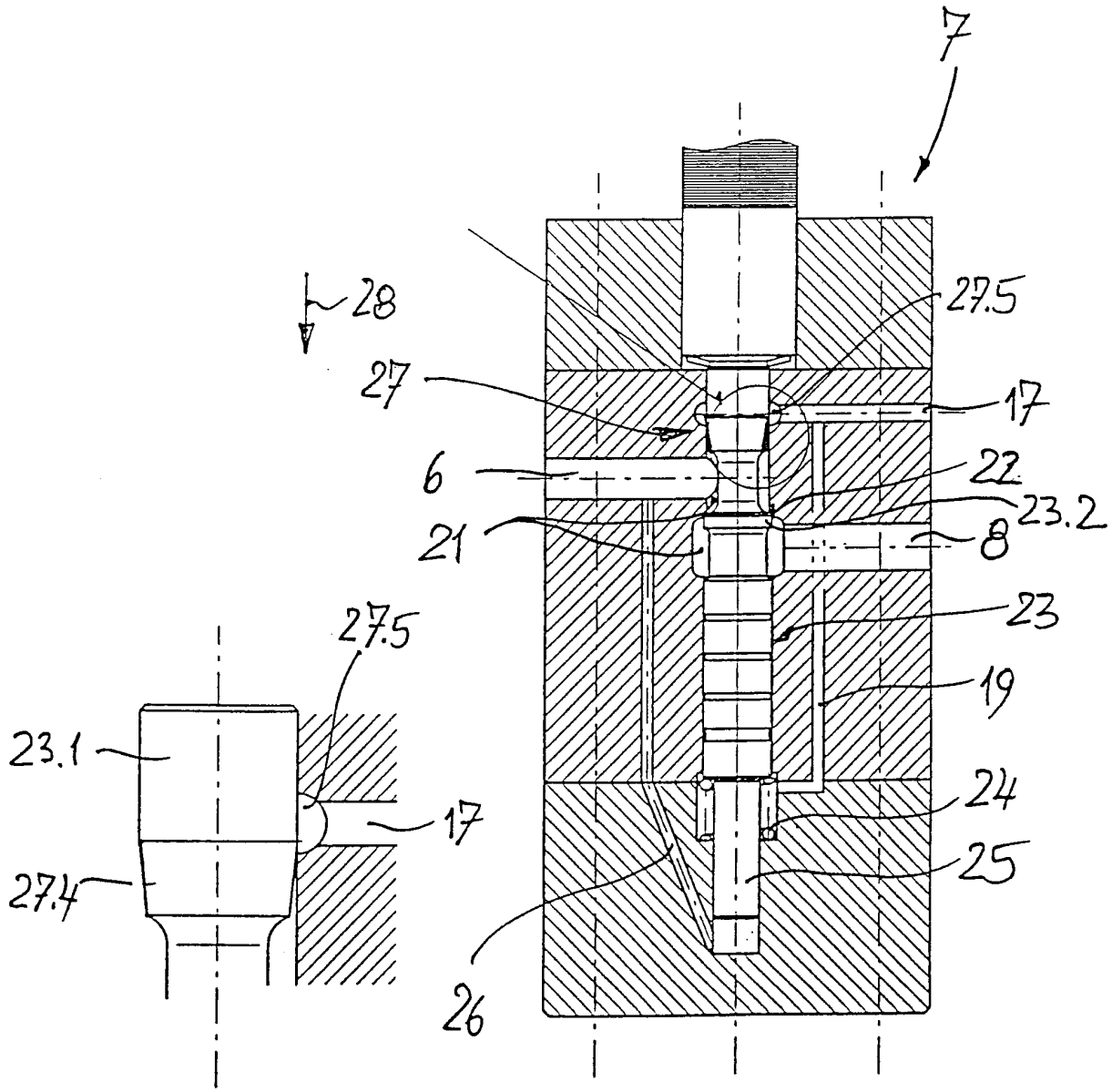


Fig. 5

Fig. 4

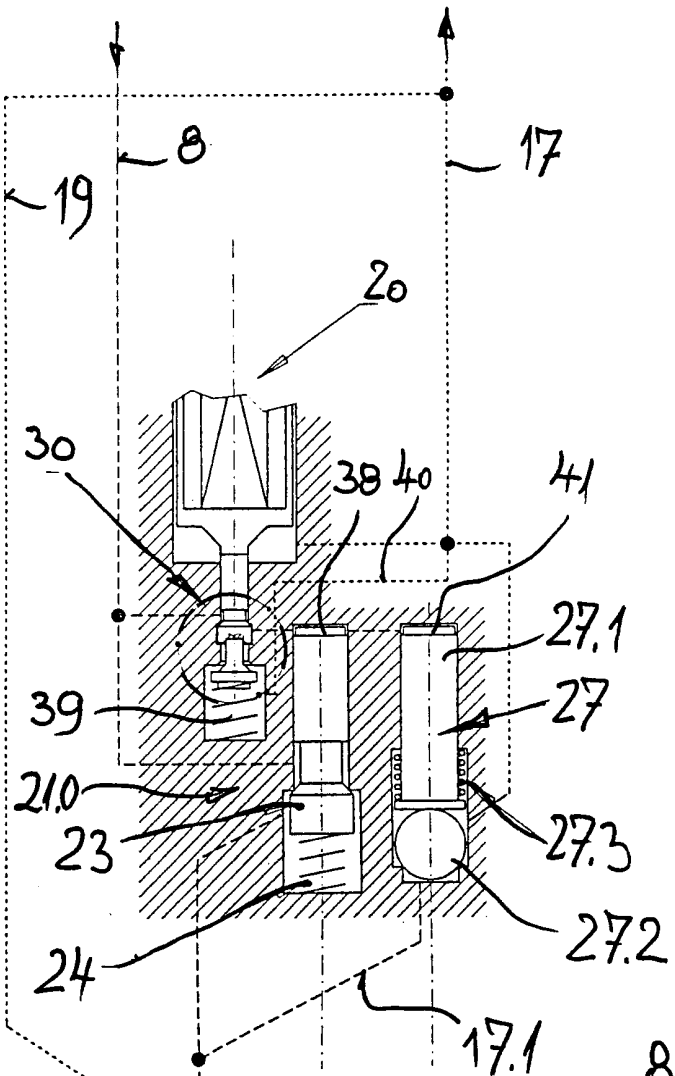

8
17
19
20
30
38
40
41
27.1
27
7
39
21.0
23
27.3
24
27.2
17.1
6

Fig. 6

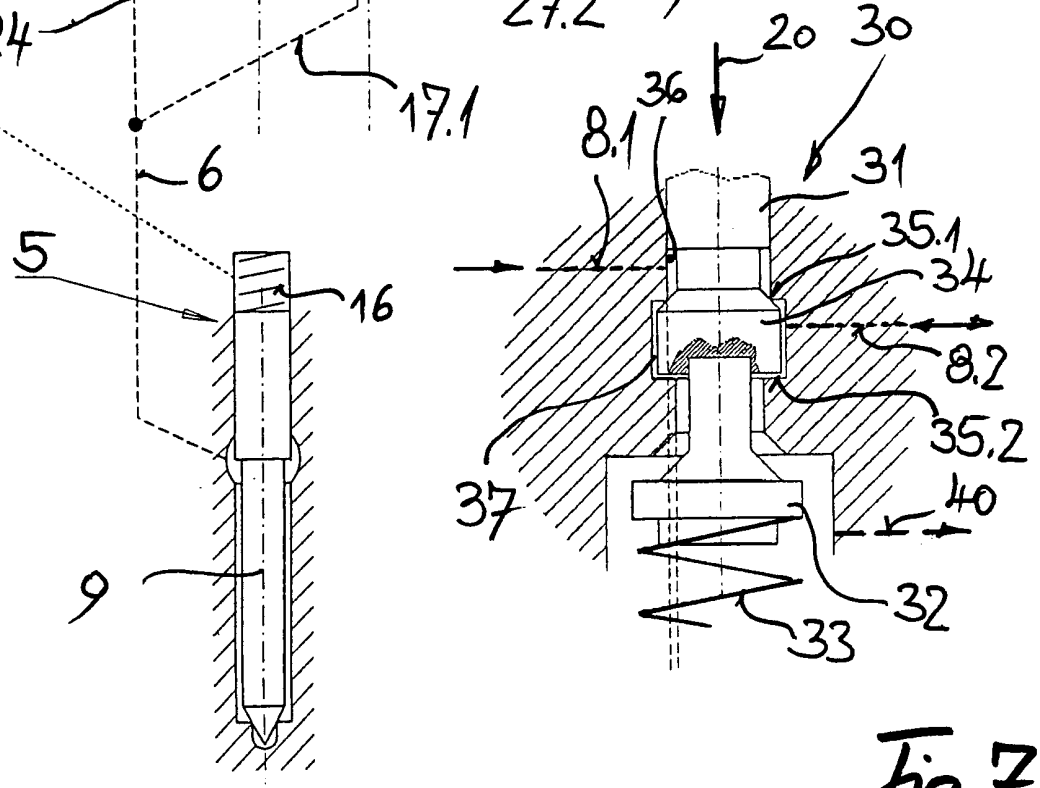

5
16
9
20
30
36
8.1
31
35.1
34
8.2
35.2
37
40
32
33

Fig. 7

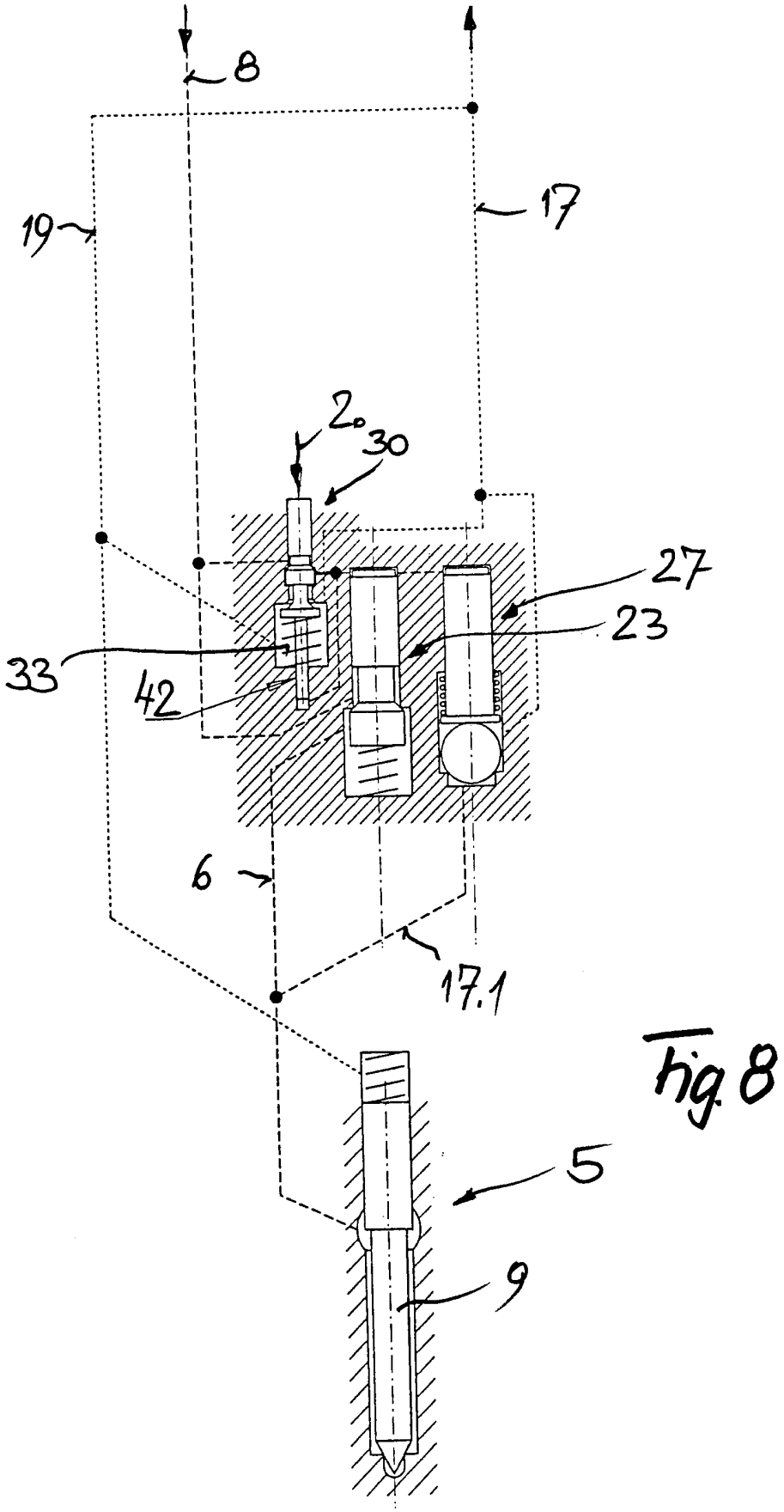


Fig. 8

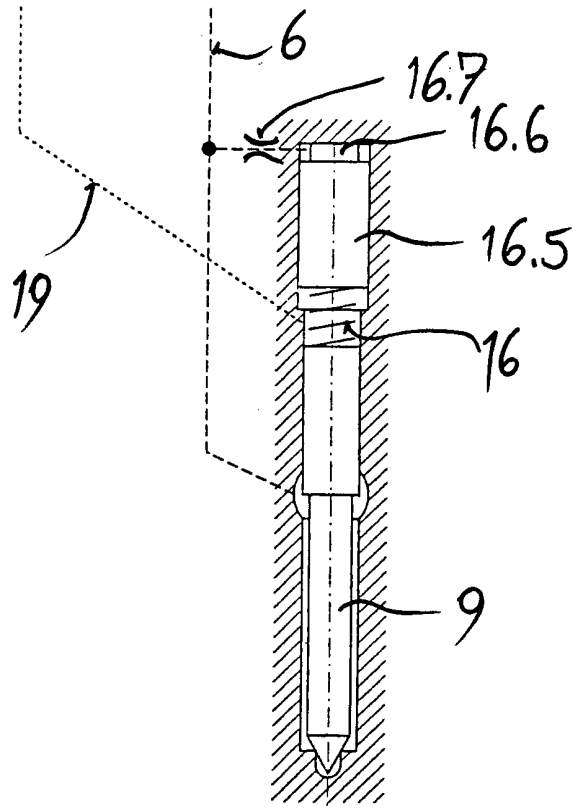


Fig.11

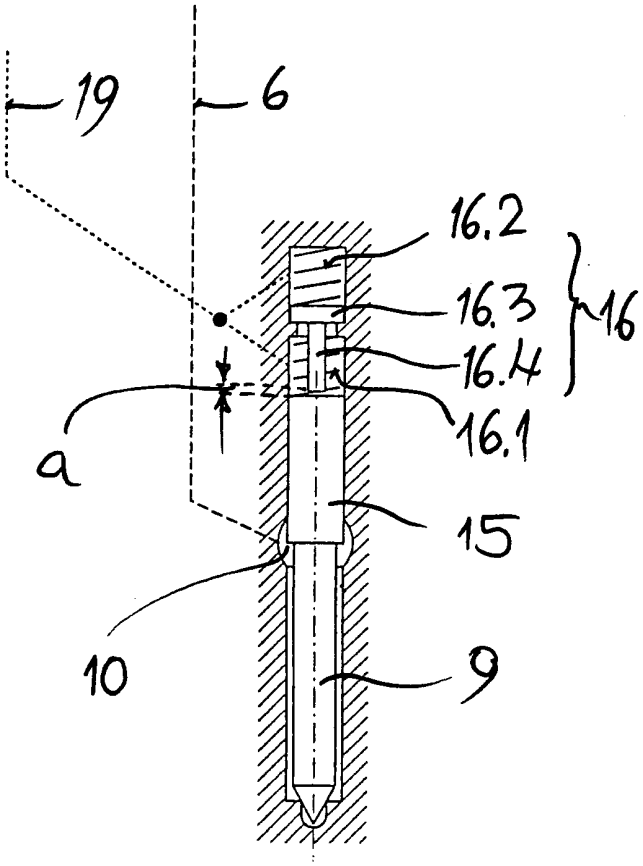


Fig.10

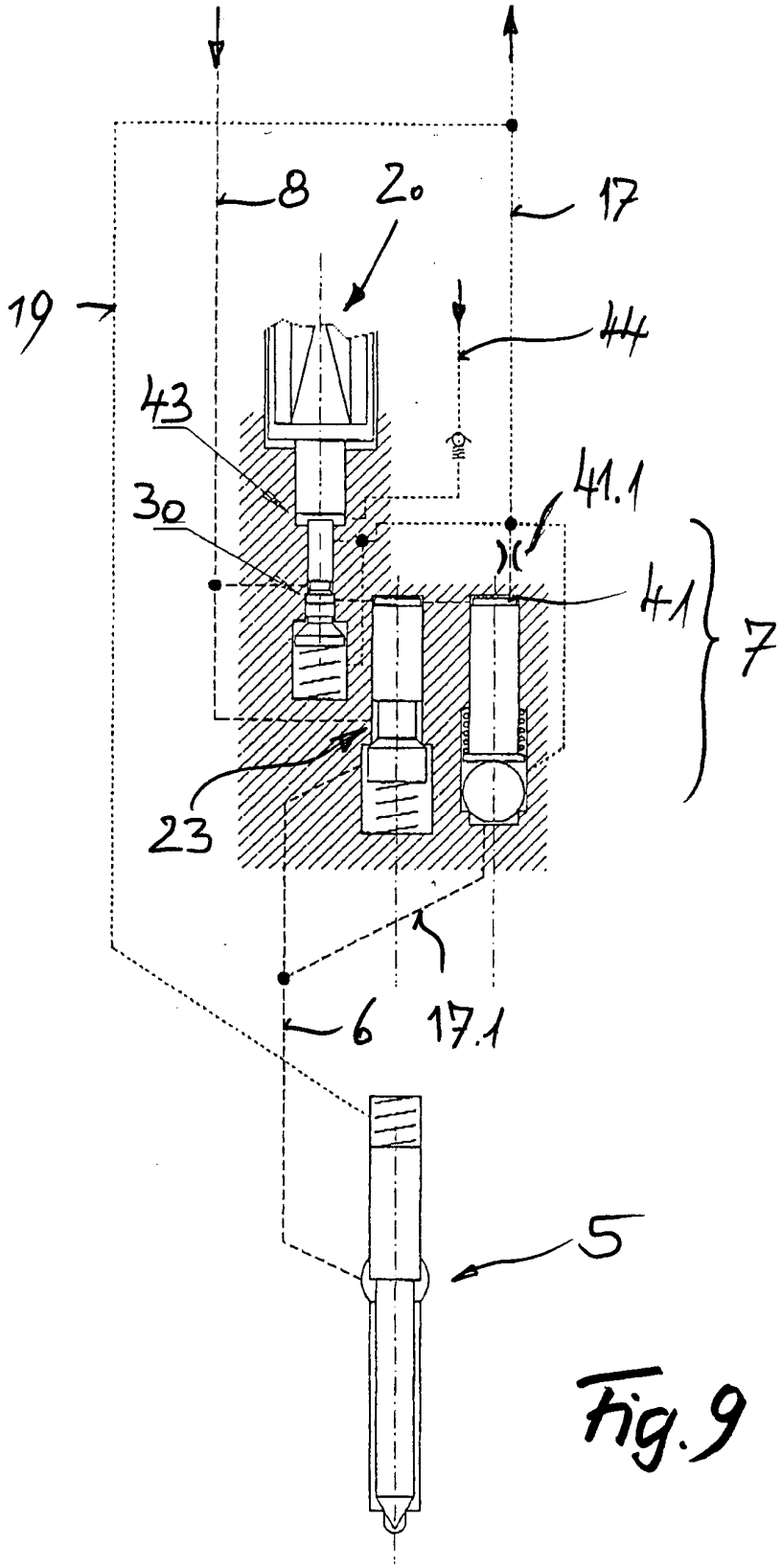


Fig. 9