



19 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 199 62 177 A 1**

51 Int. Cl.⁷:
F 15 B 15/08
F 15 B 5/00
H 02 N 2/04
F 02 M 47/06

21 Aktenzeichen: 199 62 177.2
22 Anmeldetag: 22. 12. 1999
43 Offenlegungstag: 12. 7. 2001

DE 199 62 177 A 1

71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:
Gottlieb, Bernhard, Dr., 81739 München, DE;
Kappel, Andreas, Dr., 85649 Brunnthal, DE; Mock,
Randolf, Dr., 81739 München, DE; Fischer,
Bernhard, 84513 Töging, DE

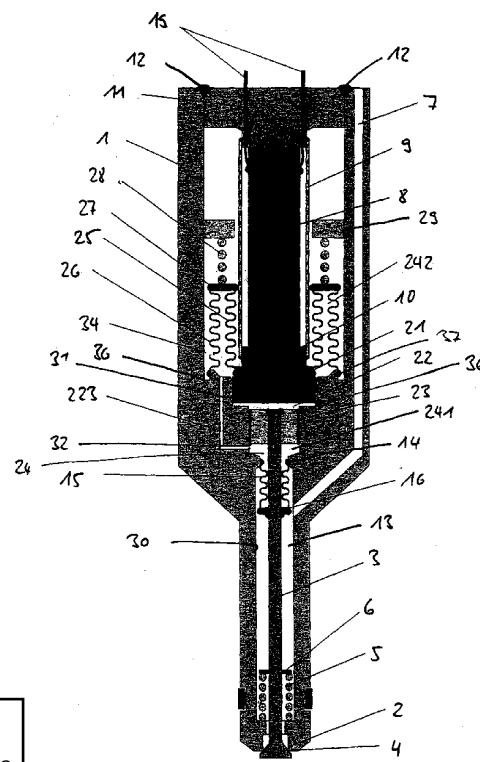
56 Entgegenhaltungen:
DE 197 08 304 A1
DE 297 08 546 U1
HYDRAULIK-TRAINER, 2. Aufl., 11.80, Vogel Verlag,
S. 157;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 **Hydraulische Vorrichtung zum Übertragen einer Aktorbewegung**

57 Eine Vorrichtung zum Übertragen einer Bewegung eines Aktors auf ein Stellglied weist ein erstes Kolbenelement, das fest mit dem Aktor verbunden ist, und ein zweites Kolbenelement, das fest mit dem Stellglied verbunden ist, auf, wobei zwischen dem ersten Kolbenelement und dem zweiten Kolbenelement eine Hydraulikkammer ausgebildet ist, und wobei eine Speicherkammer, die mit einer Hydraulikkammer über einen Drosselspalt verbunden ist, einen druckbelasteten Speicherkammerbereich umfasst, dessen Bereichsgrenzen elastisch ausgebildet sind.



Westport Fuel Systems Canada Inc.
EX 2011
Robert Bosch LLC et al. v. Westport Fuel Systems
Canada Inc.
IPR2023-00293
Page 1 of 10

DE 199 62 177 A 1

Die Erfindung betrifft eine hydraulische Vorrichtung zum Übertragen einer Bewegung eines Aktors auf ein Stellglied gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, insbesondere zum Einsatz in einem Fluiddosierer. Eine solche Vorrichtung, im Weiteren auch als Übertragungselement bezeichnet, ist aus der DE 197 08 304 A1 bekannt.

In der Kraftfahrzeugtechnik werden zunehmend Speichereinspritzsysteme eingesetzt, bei denen mit sehr hohen Einspritzdrücken gearbeitet wird. Bei solchen z. B. unter der Bezeichnung "Common-Rail-Systeme" bekannten Einspritzsystemen wird Kraftstoff unter hohem Druck an in den Zylindern der Brennkraftmaschine angeordneten Einspritzventile angelegt. Der Einspritzvorgang in den Zylinder wird durch Öffnen und Schließen der Einspritzventile ausgelöst, wobei die Einspritzventile über Aktoren angesteuert werden, die nach dem elektromagnetischen und, um hohe Schaltgeschwindigkeiten zu erreichen, auch nach dem piezoelektrischen, elektrostriktiven oder magnetostriktiven Prinzip arbeiten. Die Aktoren in den Einspritzventilen betätigen dabei, ggf. unter Zwischenschaltung eines Servoventils eine Ventilmadel im Einspritzventil.

An ein serientaugliches Kraftstoffeinspritzventil werden insbesondere folgende Anforderungen gestellt:

Die Ventilmadel soll in dem Einspritzventil entweder unbelastet angeordnet sein oder mit einer druckabhängigen Kraft belastet werden. Falls ein steigender Kraftstoffdruck an der Ventilmadel anliegt, ist zu gewährleisten, dass die Ventilmadel zum Sicherstellen einer ausreichenden Dichtheit mit steigenden Kraftstoffdruck immer fester auf den Ventilsitz gepresst wird.

Weiterhin soll das Einspritzventil unempfindlich gegen thermische oder druckinduzierte Längendehnungen sein. Auch soll die Funktionsfähigkeit des Einspritzventils nicht durch Setzeffekte, die z. B. durch Alterungsprozesse des Aktors ausgelöst werden können, beeinträchtigt werden. Um Längenänderungen im Einspritzventil, die durch thermische, Druck- oder Setzeffekte hervorgerufen werden, zu verhindern, werden üblicherweise die Ventilmadel bzw. die weiteren Bauteile im Einspritzventil aus Spezialstählen gefertigt, die jedoch sehr kostspielig sind. Weiterhin ist es auch beim Einsatz solcher kostspieliger Spezialstähle notwendig, zwischen den einzelnen Bauteilen einen ausreichenden Abstand vorzusehen, um eventuelle Längendehnungen zwischen den Bauteilen aufnehmen zu können. Dieser notwendige Sicherheitsabstand von 3 µm bis 5 µm geht jedoch als nutzbarer Hub des Aktors verloren, was insbesondere beim Einsatz eines Piezo-Aktors, der nur einen kleinen Hub hervorbringt, zu Problemen beim Öffnen der Ventilmadel führen kann.

Um keinen Spalt zwischen den einzelnen Bauteilen im Einspritzventil vorsehen zu müssen, wird in der DE 197 08 304 A1 ein hydraulisches Übertragungselement vorgeschlagen, das die Auslenkung des Aktors im Einspritzventil auf einen Antriebsstempel des Servoventils bzw. einen Führungsschaft der Ventilmadel überträgt. Das hydraulische Übertragungselement ist dabei im Wesentlichen zylinderförmig ausgebildet und weist eine Hydraulikkammer auf, die von einer flexiblen Membran begrenzt ist. An der flexiblen Membran liegt der Antriebsstempel des Servoventils bzw. der Führungsschaft der Ventilmadel an. Von der Hydraulikkammer führt eine Verbindungsbohrung mit Drosselwirkung zu einer Speicherkammer, die im Inneren des Übertragungselement vorgesehen ist und durch eine vorgespannte Federplatte abgeschlossen wird. Über die Federplatte ist in der Hydraulikkammer eine starre Abdeckplatte angeordnet, die am Aktor des Einspritzventils anliegt. Die

Hydraulikkammer und die Speicherkammer sind mit einem hydraulischen Medium gefüllt.

Im Ruhezustand wird über die Verbindungsbohrung der in der Speicherkammer herrschende Druck des hydraulischen Mediums auf die Hydraulikkammer übertragen, so dass die flexible Membran immer am Antriebsstempel des Servoventils bzw. am Führungsschaft der Ventilmadel anliegt, auch wenn sich aufgrund thermischer Effekte oder Alterungsprozesse Verschiebungen der Anordnung der einzelnen Komponenten im Kraftstoffeinspritzventil ergeben. Bei einer Betätigung des Aktors wird die Auslenkung dieses Aktors über das Übertragungselement im Wesentlichen unverändert auf den Antriebsstempel des Servoventils bzw. den Führungsschaft der Ventilmadel übertragen. Die Verbindungsbohrung zwischen der Hydraulikkammer und der Speicherkammer ist hierbei so ausgelegt, dass aufgrund der im Bereich von Millisekunden liegenden Ansteuerzeiten im Wesentlichen kein hydraulisches Medium aus der Hydraulikkammer in die Speicherkammer abfließen kann.

Das aus der DE 197 08 304 A1 bekannte Übertragungselement zeichnet sich jedoch durch einen komplizierten Aufbau aus. Weiterhin ist es mit diesem bekannten Übertragungselement schwierig, eine Temperaturkompensation über den gesamten Arbeitsbereich des Kraftstoffeinspritzventils von ca. -40°C bis +150°C zu gewährleisten. In diesem großen Temperaturbereich kann es zu einer Änderung des Volumens des im Übertragungselement eingesetzten hydraulischen Mediums von bis zu 20% kommen. Eine solche große Volumenschwankung lässt sich jedoch nur sehr schwer von dem in der DE 197 08 304 A1 gewählten Aufbau bewältigen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine spielfreie hydraulische Vorrichtung zum Übertragen einer Bewegung eines Aktors auf ein Stellglied bereitzustellen, die sich durch eine große Zuverlässigkeit bei hohen Dauerbelastungen und starken Temperaturschwankungen auszeichnet.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich durch ein Übertragungselement aus, das ein erstes Kolbenelement, das fest mit einem Aktor verbunden ist, und ein zweites Kolbenelement, das fest mit einem Stellglied verbunden ist, aufweist, wobei zwischen dem ersten Kolbenelement und dem zweiten Kolbenelement eine Hydraulikkammer ausgebildet ist, und wobei eine mit der Hydraulikkammer über einen Drosselspalt verbundene Speicherkammer einen druckbelasteten Bereich umfasst, dessen Bereichsgrenzen elastisch ausgebildet sind. Dieser Aufbau gewährleistet zuverlässig eine selbsttätige Kompensation großer Abstandsänderungen zwischen dem Aktor und dem Stellglied, die durch thermische Druck- oder Setzeffekte hervorgerufen werden können. Darüber hinaus wird durch die elastische Auslegung eines Speicherkammerbereiches gewährleistet, dass das Übertragungselement über einen weiten Temperaturbereich, insbesondere den gesamten Arbeitsbereich eines Kraftstoffeinspritzventils von ca. -40°C bis +150°C funktionsfähig bleibt. Das erfindungsgemäße Übertragungselement kann darüber hinaus sowohl in einem nach innen als auch nach außen sich öffnenden Kraftstoffeinspritzventil eingesetzt werden. Weiterhin zeichnet sich das Übertragungselement durch eine sehr kompakte Bauform, einen sehr hohen hydro-mechanischen Übertragungswirkungsgrad und hervorragende dynamische Übertragungseigenschaften aus, da nur eine sehr kleine Hydraulikkammer zwischen dem ersten und dem zweiten Kolbenelement benötigt wird.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist der elastische Speicherkammerbereich durch eine Federbalganord-

nung, vorzugsweise bestehend aus Metallbälgen, begrenzt. Solche Metallbälge sind radial sehr steif, in axiale Richtung jedoch sehr weich ausgelegt und können somit zuverlässig Volumenänderungen in der im Übertragungselement enthaltenen Hydraulikflüssigkeit aufnehmen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird der Aktor von einem Federelement vorgespannt, das fest mit dem ersten Kolbenelement des Übertragungselements verbunden ist. Durch diese Ausgestaltung kann eine Rückstellfeder, die das Stellglied nach Ende der Ansteuerung des Aktors in seine Ausgangsstellung zurücksetzt, klein dimensioniert werden, da die Funktion der Rückstellfeder durch die Rückziehbewegung des Aktors, die über das Übertragungselement auf das Stellglied wirkt, unterstützt wird.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann durch geeignete Wahl der Größenverhältnisse der druckwirksamen Flächen des ersten Kolbenelements und des zweiten Kolbenelements eine Hubübersetzung der Aktorbewegung auf das Stellglied erfolgen. Hierdurch wird erreicht, dass auch beim Einsatz eines Piezoelements als Aktor ein ausreichender Hub zum Betätigen des Stellgliedes erzeugt wird.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein nach außen sich öffnendes Kraftstoffeinspritzventil mit einem erfindungsgemäßen hydraulischen Übertragungselement in einer ersten Ausführungsform;

Fig. 2 ein nach innen sich öffnendes Kraftstoffeinspritzventil mit einem erfindungsgemäßen hydraulischen Übertragungselement in der ersten Ausführungsform; und

Fig. 3 ein nach außen sich öffnendes Kraftstoffeinspritzventil mit einem erfindungsgemäßen hydraulischen Übertragungselement in einer zweiten Ausführungsform.

Das in **Fig. 1** gezeigte Kraftstoffeinspritzventil, das sich nach außen in einen Brennraum einer Brennkraftmaschine öffnet, wird mit unter hohem Druck stehenden Kraftstoff betrieben. Bei diesem Einspritzventil ist im oberen Teil eines Gehäuses **1** eine Antriebseinheit eingebaut, die als wesentliches Bauteil einen piezoelektrischen Multilayeraktor **8** in Niedervolttechnik aufweist. Dieser piezoelektrische Multilayeraktor **8** ist von einer Rohrfeder **9** umgeben, die zwischen einer Kopfplatte **10** und einer Fußplatte **11** eingeschweißt ist, wobei die Rohrfeder **9** so vorgespannt ist, dass der piezoelektrische Multilayeraktor **8** unter einer mechanischen Druckvorspannung steht. Das Gehäuse **1** ist weiterhin mit einer Fußplatte **11** der Antriebseinheit möglichst steif, vorzugsweise über eine Schweißnaht **12**, verbunden.

Der piezoelektrische Multilayeraktor **8** wirkt, wenn er elektrisch über seine Zuleitungen **19** angesteuert wird, über ein hydraulisches Übertragungselement auf das hintere Ende einer Ventilnadel **3** ein. Die Ventilnadel **3** ist im vorderen Teil des Gehäuses **1** des Einspritzventils in einer durchgehenden Innenbohrung **30** angeordnet und verschließt im Ruhezustand mit einem am vorderen Ende der Ventilnadel **3** angeordneten Ventiltellers **4** einem Ventilsitz **2** am Gehäuse **1**. Der geschlossene Ausgangszustand im Einspritzventil wird dabei durch eine vorgespannte Düsenfeder **5** gewährleistet, die mit der Ventilnadel **3** über einen Sprengring **6** verbunden ist und den Ventilteller **4** auf den Ventilsitz **2** drückt. Bei einer Ansteuerung des piezoelektrischen Multilayeraktors **8** hebt die vom Übertragungselement auf das hintere Ende der Ventilnadel **3** übertragene Auslenkung den Ventilteller **4** vom Ventilsitz **2** ab, so dass Kraftstoff, der in eine Kraftstoffkammer **13** im Gehäuse **1** über eine Kraftstoffzuleitung **7** eingespeist wird, an der Ventilnadel **3** vorbei in den Brennraum der Brennkraftmaschine eingespritzt werden kann.

Da der Kraftstoff unter sehr hohem Druck in der Kraftstoffkammer **13** im Gehäuse **1** steht, muss dieser Bereich zuverlässig von den übrigen Bereichen im Gehäuse **1** des Einspritzventils, insbesondere von dem Antriebsbereich abgedichtet sein. Zur hermetisch dichten und axial sehr weichen Durchführung der Ventilnadel **3** aus der Kraftstoffkammer **13** in den Bereich, in dem das Übertragungselement und das Antriebseinheit eingebaut sind, dient ein Metallbalg **15**. An die Kraftstoffkammer **13** grenzt ein ringförmiger Absatz **14** an, der in die Innenbohrung **30** hineinragt. An der Ventilnadel **3** ist weiterhin ein ringförmiges Anschlussstück **16** angebracht. Zwischen dem Anschlussstück **16** an der Ventilnadel **3** und dem ringförmig umlaufenden Absatz **14** im Gehäuse **1** ist der parallel zur Ventilnadel **3** verlaufende Metallbalg **15** eingeschweißt, der zur hermetischen Abdichtung der Kraftstoffkammer **13** gegenüber den weiteren Gehäusebereichen, in denen sich die Antriebseinheit und das Übertragungselement befindet, dient. Weiterhin wird die Ventilnadel **3** durch den Metallbalg **15** gegen Verdrehen gesichert. Dies kann insbesondere dann von Vorteil sein, wenn ein hubbegrenzender Anschlag für die Ventilnadel **3** in das Kraftstoffeinspritzventil eingebaut ist.

Der Einsatz des Metallbalgs **15** zur Nadeldurchführung ermöglicht eine perfekte, dauerhafte und zuverlässige Abdichtung des Hochdruckbereichs im Einspritzventil gegenüber den übrigen Bereichen. Der Metallbalg **15** hält, wie Berechnungen und Versuche gezeigt haben, trotz geringer Wandstärken von bspw. 50 µm bis 500 µm aufgrund seiner hohen radialen Steifigkeit sehr hohen Drücken stand, ohne irreversibel verformt zu werden. Der Metallbalg **15** kann weiterhin so ausgelegt werden, dass durch eine hinreichende Anzahl von Wellen eine hohe axiale Nachgiebigkeit, d. h. geringe Federrate in Bewegungsrichtung der Ventilnadel **3** erreicht wird, um die Auslenkung der Ventilnadel **3** nicht zu beeinträchtigen und um die durch temperaturbedingte Längenänderungen der Nadeldurchführung in die Ventilnadel **3** eingeleiteten Kräfte so gering wie möglich zu halten. Weiterhin kann durch den Einsatz des Metallbalgs **15** in der Nadeldurchführung mit hoher Zuverlässigkeit eine Kraftstoffleckage verhindert werden.

Die Nadeldurchführung aus ringförmiger Absatz **14**, Metallbalg **15** und Anschlussstück **16** kann weiterhin so ausgestaltet werden, dass die auf die Ventilnadel **3** wirkenden druckbedingten Kräfte sich gegenseitig kompensieren, so dass die Ventilnadel **3** insgesamt kraftfrei gehalten wird. Dies ermöglicht es, das Einspritzventil so auszulegen, dass ein vom Kraftstoffdruck nahezu unabhängiges Schaltverhalten möglich wird, da die Öffnungs- und Schließkräfte dann allein vom piezoelektrischen Multilayeraktor **8** und der Kraft der vorgespannten Düsenfeder **5** bestimmt werden.

Andererseits kann die aus dem ringförmigen Absatz **14**, dem Metallbalg **15** und dem Anschlussstück **16** gebildete Ventilnadeldurchführung auch so ausgelegt werden, dass sich eine mit steigendem Kraftstoffdruck in der Kraftstoffkammer **13** zunehmende Kraft ergibt, mit welcher der Ventilteller **4** in den Ventilsitz **2** gedrückt wird. Durch Wahl des hydraulischen Durchmessers, der durch den Absatz **14**, den Metallbalg **15** und das Anschlussstück **16** festgelegt ist, besteht somit die Möglichkeit, die Ventilnadel **3** des Injektors in der gewünschten Weise druckkräftemäßig, d. h. völlig druckkräftefrei, überkompensiert oder unterkompensiert zu halten.

Der Metallbalg **15** verfügt weiterhin aufgrund seines metallischen Werkstoffes über einen weiten Arbeitstemperaturbereich mit gleichbleibender Funktionsfähigkeit. Die thermischen Längenänderungen des Metallbalgs **15** selbst führen aufgrund der niedrigen axialen Federkonstante des Metallbalgs **15** nur zu einer vernachlässigbar geringen Kraft-

einleitung in die Ventilnadel **3** in axialer Richtung. Der Metallbalg **15** kann darüber hinaus aufgrund seiner mechanischen Federwirkung in axialer Richtung auch die Düsenfeder **5** teilweise oder vollständig ersetzen.

Um den Hub des piezoelektrischen Multilayeraktors **8** auf die Ventilnadel **3** zu übertragen, ist das Übertragungselement zwischen der Antriebseinheit und der Ventilnadel **3** vorgesehen. Dieses Übertragungselement dient dabei primär als hydraulisches Spielausgleichselement, um jegliches Spiel zwischen dem piezoelektrischen Multilayeraktor **8** und der Ventilnadel **3** auszuschließen. Weiterhin kann mit dem Übertragungselement eine Hubübersetzung erfolgen.

Das Übertragungselement weist einen Primärkolben **21** und einen Sekundärkolben **23** auf, die in einem an den ringförmigen Absatz **14** im Gehäuse **1** angrenzenden Bohrungsabschnitt angeordnet sind. Dieser Bohrungsabschnitt ist zweistufig ausgebildet, mit einem ersten, sich an die Antriebseinheit anschließenden breiteren Bohrungsabschnitt **31**, in dem der Primärkolben **21** sitzt und einem zweiten schmäleren Bohrungsabschnitt **32**, der an den Anschlag **14** im Gehäuse **1** angrenzt und in dem der Sekundärkolben **23** angeordnet ist. Der Primärkolben **21** ist im Wesentlichen zylindrisch ausgebildet und an der Kopfplatte **10** der Antriebseinheit angebracht oder bevorzugt fest über eine Verschweißung mit dieser verbunden. Vorzugsweise bestehen die Kopfplatte **10** und der Primärkolben aus einem Teil. Der Sekundärkolben **23** ist als Hohlzylinder ausgebildet und auf das hintere Ende der Ventilnadel **3** aufgesteckt, wobei die dem Primärkolben **21** zugewandte Stirnfläche des Sekundärkolbens **23** im Wesentlichen plan zur Endfläche der Ventilnadel **3** angeordnet ist. Die Ventilnadel **3** und der Sekundärkolben **23** sind ebenfalls bevorzugt über eine Verschweißung fest, zumindest aber spielfrei und mechanisch möglichst steif miteinander verbunden.

Der Primärkolben **21** und der Sekundärkolben **23** sind weiterhin so voneinander beabstandet, dass zwischen den sich gegenüberliegenden Stirnflächen im Bereich des Übergangs vom ersten Bohrungsabschnitt **31** zum zweiten Bohrungsabschnitt **32** eine Hydraulikkammer **22** ausgebildet ist. Weiterhin ist im Übertragungselement eine zweiteilige Speicherkammer **24** vorgesehen, die einen ersten Speicherkammerbereich **241** in der Innenbohrung **30** aufweist, der durch die untere Stirnfläche des Sekundärkolbens **23** und durch das Anschlussstück **16** des Metallbalges **15** an der Ventilnadel **3** begrenzt wird. Dieser erste Speicherkammerbereich **241** ist über eine im Gehäuse **1** ausgebildete ungedrosselte Verbindungsbohrung **223** an einen zweiten Speicherkammerbereich **242** angeschlossen, der in den ersten Bohrungsabschnitt **31** angrenzenden Gehäusebereich **34** um die Antriebseinheit herum angeordnet ist. Der zweite Speicherkammerbereich **242** wird durch zwei konzentrisch zueinander angeordnete Federbälge **25**, **26** und einem Druckring **27** begrenzt, der wiederum von einer Druckfeder **28** gehalten wird, die an einer Lochplatte **29** im Gehäusebereich **34** abgestützt ist. Der innenliegende Federbalg **25** ist dabei zwischen die Innenseite des Druckrings **27** und der hinteren Stirnfläche des Primärkolbens **21**, die aus dem ersten Bohrungsabschnitt **31** heraussteht, eingeschweißt. Der außenliegende Federbalg **26** ist an die Außenseite des Druckrings **27** und an eine an den ersten Bohrungsabschnitt **31** angrenzende Gehäusestufe **30** angeschweißt. In der Gehäusestufe **30** zwischen den beiden Federbälgen **25**, **26** mündet die Verbindungsbohrung **223**.

Die Hydraulikkammer **22** und die Speicherkammer **24** stehen über einen Drosselspalt **36**, der zwischen der Umfangswandung des Sekundärkolbens **23** und der Innenwandung des zweiten Bohrungsabschnitts **32** ausgebildet ist, und über einen Drosselspalt **37**, der zwischen der Umfangswan-

dung des Primärkolbens **21** und der Innenwandung des ersten Bohrungsabschnitts **31** ausgebildet ist, miteinander in Verbindung. Weiterhin ist der gesamte Innenraum des Übertragungselements mit einer Hydraulikflüssigkeit gefüllt, die unter einem geringen Überdruck steht, der durch die Druckfeder **28** erzeugt wird, die über den Druckring **27** den zweiten Speicherkammerbereich **242** beaufschlagt. Vor dem Befüllen des Innenraums des Übertragungselements mit Hydraulikflüssigkeit wird diese Hydraulikflüssigkeit entgast, um eventuell vorhandene Gasbläschen in der Flüssigkeit aufzulösen.

Das Einspritzventil mit dem Übertragungselement arbeitet wie folgt:

Zur Einleitung des Einspritzvorgangs wird der piezoelektrische Multilayeraktor **8** über die elektrischen Zuleitungen **19** geladen. Dies bewirkt, dass der piezoelektrische Multilayeraktor **8** sich axial auslenkt und über die Kopfplatte **10** den Primärkolben **21** nach unten in den ersten Bohrungsabschnitt **31** hinein schiebt.

Beim Übertragungselement sind der Drosselspalt **36** am Sekundärkolben **23** und der Drosselspalt **37** am Primärkolben **21**, die eine Verbindung zwischen der Hydraulikkammer **22** und der Speicherkammer **24** herstellen, so dimensioniert, dass während der typischen Ansteuerzeiten des piezoelektrischen Multilayeraktors **8** von 1 bis 5 ms nur ein verschwindend geringer Austausch von Hydraulikflüssigkeit zwischen der Hydraulikkammer **22** und der Speicherkammer **24** stattfinden kann. Dies bedeutet, dass das Volumen der Hydraulikflüssigkeit während der Einspritzzeit nur durch die Kompressibilität der Hydraulikflüssigkeit bestimmt ist, und die Hydraulikkammer **22** somit als steifer Kolben betrachtet werden kann. Die Federkonstante c der Hydraulikkammer **22** lässt sich dabei wie folgt abschätzen.

$$\kappa = -1/V \cdot \delta \text{ und } V = A \cdot H \Rightarrow dP = -1/(\kappa V) \cdot A dh$$

κ : Kompressibilität der Hydraulikflüssigkeit

V : Volumen der Hydraulikkammer

P : Druck

A : Querschnittsfläche der Hydraulikkammer

h : Höhe der Hydraulikkammer

$$\text{mit } dF = dP/A \Rightarrow dF = -1/(\kappa V) A^2 dh$$

F : Kraft

ergibt sich

$$c = -dF/dh \Rightarrow c = A/(\kappa h)$$

Die obige Gleichung zeigt, dass die Federkonstante c der Hydraulikkammer **22** um so größer ist, je geringer deren Höhe und je größer deren wirksame Querschnittsfläche ist. Simulationsrechnungen haben weiterhin gezeigt, dass mit thermischen und druckinduzierten Ausdehnungen von maximal $50 \mu\text{m}$ zu rechnen ist. Um die Hydraulikkammer **22** als steifen Kolben betrachten zu können, sollte die Federkonstante c der Hydraulikkammer **22** im Bereich von 10^8 N/m oder höher liegen. Dies heißt, dass, unter der Annahme, dass die Kompressibilität der Hydraulikflüssigkeit κ ca. $10 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ ist, was einem typischen Wert für eine Hydraulikflüssigkeit entspricht, der gewünschte Wert für die Federkonstante c z. B. mit einer Querschnittsfläche von 1 cm^2 und einer Höhe von $0,1 \text{ cm}$ erreicht werden kann. Die genaue Auslegung der Höhe und Querschnittsfläche der Hydraulikkammer **22** kann jedoch jeweils an die Gegebenheiten im Einspritzventil angepasst werden, um eine kompakte Bauform zu erreichen.

Durch die Auslegung der Hydraulikkammer **22** als steifer

Kolben wird die Bewegung des Primärkolbens **21**, die vom piezoelektrischen Multilayeraktor **8** ausgelöst wird, verlustarm direkt auf den Sekundärkolben **23** übertragen. Die Bewegung des Sekundärkolbens **23** wird dabei nur geringfügig von der sich im ersten Speicherkammerbereich **241** befindenden Hydraulikflüssigkeit gedämpft, da die überschüssige Hydraulikflüssigkeit aufgrund des schnellen Druckanstiegs im ersten Speicherkammerbereich **241** über die ungedrosselte Verbindungsbohrung **223** in den zweiten Speicherkammerbereich **242** weggedrückt wird. Die beiden konzentrisch zueinander angeordneten Federbälge **25**, **26**, die den zweiten Speicherkammerbereich **242** begrenzen, sind radial sehr steif, in axiale Richtung jedoch sehr weich ausgelegt. Bevorzugt werden dabei als Federbälge Metallbälge eingesetzt, die im Wesentlichen dem Metallbalg **15** der Nadeldurchführung entsprechen. An dieser Stelle ist aber ebenso der Einsatz elastomerer Werkstoffe für die Federbälge **25**, **26** möglich. Wenn Hydraulikflüssigkeit vom ersten Speicherkammerbereich **241** über die Verbindungsbohrung **223** in den zweiten Speicherkammerbereich **242** gedrückt wird, dehnt sich der zweite Speicherkammerbereich **242** gegen die Haltekraft der auf dem Druckring **27** lastenden Druckfeder **28** axial in Richtung auf die Fußplatte **11** der Antriebseinheit aus.

Die vom Primärkolben **21** ausgelöste Bewegung des Sekundärkolbens **23** verschiebt die mit dem Sekundärkolben **23** verbundene Ventilmadel **3** gegen die Rückstellkraft der Düsenfeder **5** nach unten, so dass der Ventilteller **4** vom Ventilsitz **2** abhebt und das Einspritzventil sich öffnet. Die Längendehnung des piezoelektrischen Multilayeraktors **8** wird dabei in eine Verschiebung des Sekundärkolbens **23** und damit der Ventilmadel **3** übersetzt, die dem Verhältnis der druckwirksamen Flächen des Primärkolbens **21** und des Sekundärkolbens **23** in der Hydraulikkammer **22** entspricht. Durch geeignete Abstimmung der Primärkolbenfläche zur Sekundärkolbenfläche lässt sich also z. B. eine Vergrößerung des Hubs des piezoelektrischen Multilayeraktors **8** in Bezug auf den Hub der Ventilmadel **3** einstellen. Hierdurch kann zuverlässig gewährleistet werden, dass der extrem kurze Hub des piezoelektrischen Multilayeraktors **8** bei allen Betriebsbedingungen des Einspritzventils ausreicht, die Ventilmadel **3** zu öffnen.

Der Einspritzvorgang wird beendet, indem der piezoelektrische Multilayeraktor **8** über die elektrischen Zuleitungen **19** wieder entladen wird. Hierdurch verkürzt sich der piezoelektrische Multilayeraktor **8** auf seine Ausgangslänge, wobei die Rohrfeder **9** verhindert, dass die Piezo-Keramik durch Massenträgheitseffekte beim Kontrahieren unter Zugspannung gerät. Da der Primärkolben **21** über die Kopfplatte **10** fest mit der Antriebseinheit verbunden ist, wird durch die Kontraktion des piezoelektrischen Multilayeraktors **8** auch der Primärkolben **21** aus dem ersten Bohrungsabschnitt **31** zurückgezogen. Hierdurch entsteht in der Hydraulikkammer **22** kurzzeitig eine Druckabsenkung, die aufgrund der extrem kurzen Schaltzeiten des piezoelektrischen Multilayeraktors **8** und dem kleindimensionierten Drosselspalt **36** am Sekundärkolben **23** nicht durch Nachfließen von Hydraulikflüssigkeit aus der Speicherkammer **24** über die Drosselspalte **36**, **37** sofort ausgeglichen werden kann. Diese Druckabsenkung in der Hydraulikkammer **22** gegenüber dem im der Speicherkammer **24** anstehenden Druck führt zu einer Druckdifferenz, die über der der Hydraulikkammer zugewandten Seite des Sekundärkolbens **23** und der dem ersten Speicherkammerbereich **241** zugewandten Seite des Sekundärkolbens **23** abfällt. Hierdurch wird die Rückstellung der Ventilmadel **3** durch die Düsenfeder **5** unterstützt, so dass ein schnelles Schließen des Einspritzventils erreicht wird, was sich günstig auf den Verbrennungs-

verlauf auswirkt.

Durch die erfindungsgemäße Auslegung des Übertragungselementes ist es weiterhin möglich, selbsttätig alle thermischen, durch Setzeffekte der Antriebseinheit oder hervorgerufenen druckbedingten Längenänderungen im Einspritzventil auszugleichen. Längt sich z. B. die Ventilmadel **3** aufgrund thermischer oder druckbedingter Ausdehnung in Bezug auf das Gehäuse **1** des Einspritzventils, wird der Sekundärkolben **23** nach oben in den zweiten Bohrungsabschnitt **32** hineingezogen. Der Drosselspalt **36** am Sekundärkolben **23** ist weiterhin so ausgelegt, dass sich während der thermischen Vorgänge, die zeitlich im Bereich von einigen Sekunden bis Minuten liegen, Hydraulikflüssigkeit über die Drosselspalte **36**, **37** zwischen der Speicherkammer **24** und der Hydraulikkammer **22** ausgetauscht werden kann. Wenn der Sekundärkolben **23** sich also aufgrund der thermischen Vorgänge in den zweiten Bohrungsabschnitt **32** verschiebt, fließt Hydraulikflüssigkeit so lange aus der Hydraulikkammer **22** über die Drosselspalte **36**, **37** in die Speicherkammer **24**, bis sich in der Hydraulikkammer **22** und in der Speicherkammer **24** wieder ein Druckgleichgewicht einstellt. Der Längenausgleich wird dabei ausschließlich durch die Höhe der Hydraulikkammer **22** begrenzt.

Für eine zuverlässige Funktion des Übertragungselementes ist insbesondere eine hermetische Abdichtung der Hydraulikflüssigkeit gegenüber der Kraftstoffkammer bzw. der Antriebseinheit erforderlich. Es ergeben sich so hohe Anforderungen an die Federbälge **25**, **26**, die deshalb vorzugsweise als Metallbälge ausgebildet sind. Diese Metallbälge sind wellenförmig ausgebildet, da hierdurch ein sehr kleine axiale Federkonstante erreicht werden kann. Die axiale Deformation des Metallbalges durch eine Druckbelastung ist zwar durchaus nicht gering, hebt sich aber, genau wie die auf die einzelnen Balgwellen wirkenden Kräfte, in ihrer Summe über die Gesamtlänge des Metallbalges nahezu auf. Als besonders günstige Form für die Balgwellen hat sich eine, im Längsschnitt betrachtet, aus aneinandergefügtten Halbkreissegmenten mit geraden Zwischenstücken bestehende Geometrie erwiesen. Gegenüber einem sinusförmigen Wellenverlauf weisen die aus Halbkreissegmenten bestehenden Wandungen geringere mechanische Spannungen in axiale Richtung bei höherer axialer Nachgiebigkeit auf:

Die Hydraulikflüssigkeit in der Hydraulikkammer **22** und der Speicherkammer **24** steht, wie dargestellt, unter einem geringen Überdruck, der durch die Druckfeder **28** erzeugt wird, die den Druckring **27** des zweiten Speicherkammerbereichs **242** beaufschlagt. Durch diesen geringen Überdruck bei gleichzeitig blasenfreien Einfüllen der Hydraulikflüssigkeit in das Übertragungselement wird gewährleistet, dass die schnellen Schaltvorgänge des piezoelektrischen Multilayeraktors **8** nicht zu Kavitationen in der Hydraulikflüssigkeit führen. Die Druckfeder **28** kann alternativ auch teilweise oder ganz durch eine Federwirkung der Federbälge **25**, **26** ersetzt werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Drosselspalte **36**, **37** jeweils nur am Sekundärkolben **23** oder am Primärkolben **21** vorzusehen, so dass ein Austausch von Hydraulikflüssigkeit zwischen einem der Speicherkammerbereiche **241**, **242** und der Hydraulikkammer **22** erfolgt. Es können jedoch auch Drosselspalte am Primärkolben **21** und am Sekundärkolben **23** vorgesehen sein.

In **Fig. 1** ist ein nach außen sich öffnendes Einspritzventil dargestellt. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, das erfindungsgemäße Übertragungselement bei einem nach innen sich öffnenden Einspritzventil einzusetzen. Wie in **Fig. 2** gezeigt ist, wird dann die Ventilmadel **3** von der Düsenfeder **5** statt unter Zugspannung unter Druckspannung gesetzt, so dass die Ventilmadel **3** im Ruhezustand mit einer koni-

schen Nadelspitze **104** auf einen konischen Ventilsitz **102** im Einspritzventil aufsitzt, unterhalb dem ein Einspritzloch **103** zum Einspritzen von Kraftstoff in die Brennkraftmaschine ausgebildet ist.

Das in **Fig. 2** gezeigte Einspritzventil wird genau gegenläufig zu dem in **Fig. 1** gezeigten Einspritzventil betrieben. Aus Sicherheitsgründen ist das Einspritzventil dabei so ausgelegt, dass bei nicht angesteuerten piezoelektrischen Multilayeraktor **8** das Einspritzventil geschlossen ist, d. h. die Nadelspitze **102** gegen den Ventilsitz **104** gedrückt wird.

Beim Start der Brennkraftmaschine wird dann gleichzeitig der piezoelektrische Multilayeraktor **8** angesteuert. Dieser längt sich und schiebt dadurch den Primärkolben **21** in den ersten Bohrungsabschnitt **31**. Der sich dadurch ergebende Druckanstieg in der Hydraulikkammer **22** wird über den Drosselspalt **36** am Sekundärkolben **23** und dem Drosselspalt **37** am Primärkolben **21**, die für einen Austausch von Hydraulikflüssigkeit mit der Speicherkammer **24** sorgen, ausgeglichen. Hierdurch stellt sich dann innerhalb von Sekundenbruchteilen wieder ein Gleichgewichtszustand ein, bei dem das Einspritzventil weiterhin geschlossen bleibt. Das Einspritzventil wird so betrieben, dass die Ventilsitze **3** sich immer dann öffnet, wenn der piezoelektrische Multilayeraktor **8** entladen wird und sich dadurch der Primärkolben **21** und damit auch der Sekundärkolben **23**, an dem die Ventilsitze **3** befestigt ist, zurückziehen.

Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführungsform eines sich nach außen öffnenden Einspritzventils, bei der der Basisdruck auf die Hydraulikflüssigkeit im Übertragungselement durch eine zentral im Primärkolben **121** angeordnete Druckfeder **128** erzeugt wird. Hierzu ist der Primärkolben **121** topfförmig ausgebildet, wobei zwischen der Kopfplatte **10** und einer Bodenfläche des Primärkolbens **121** ein zusätzlicher dritter Speicherkammerbereich **243** ausgebildet ist. Der Primärkolben **121** ist dabei so angeordnet, dass er sich mit seiner Bodenfläche in den ersten Bohrungsabschnitt **31** erstreckt. Die Seitenwände des Primärkolbens **21** dagegen befinden sich im Wesentlichen im Gehäusebereich **34**, in dem die Antriebseinheit angeordnet ist.

Die im dritten Speicherkammerbereich **243** angeordnete Druckfeder **128** ist zwischen der Kopfplatte **10** der Antriebseinheit und einer Druckplatte **127**, die sich im dritten Speicherkammerbereich **243** vorgesehen ist, eingeschweißt. Die Druckfeder **128** wird dabei zum dritten Speicherkammerbereich **243** hin von einem Metallbalg **125** geschützt.

Der zweite Speicherkammerbereich **242** ist zwischen der Kopfplatte **10** des piezoelektrischen Multilayeraktors **8** und der Gehäusestufe **35** um die Wandung des Primärkolbens **121** herum ausgebildet. Dieser zweite Speicherkammerbereich **242** ist über eine Verbindungsbohrung **136** mit dem dritten Speicherkammerbereich **243** im Primärkolben **121** verbunden. Die Funktionsweise des in **Fig. 3** gezeigten Übertragungselements entspricht dem in **Fig. 1** dargestellten Übertragungselement. Durch das Vorsehen einer innenliegenden Druckfeder **128** kann jedoch ein höher Basisdruck sowie eine ggf. kompaktere Bauweise des Übertragungselements erreicht werden.

Anstelle der innenliegenden Druckfeder **128** kann das vom Metallbalg **125** und der Kopfplatte **10** begrenzte gasdichte Volumen auch mit einem Druckgas beaufschlagt werden, so dass anstelle der mechanischen Druckfeder **128** eine Gasdruckfeder für die Aufrechterhaltung des Grunddruckes in den Speicherkammerbereichen **241**, **242**, **243** sorgt.

Die in der vorstehenden Beschreibung, den Zeichnungen und den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausgestaltungen in Bedeutung sein.

1. Vorrichtung zum Übertragen einer Bewegung eines Aktors (**8**) auf ein Stellglied (**3**) mit einem Übertragungselement, dass eine Wirkverbindung zwischen dem Aktor (**8**) und dem Stellglied (**3**) herstellt und eine Hydraulikkammer (**22**) und eine Speicherkammer (**24**) festlegt, die mit einer Hydraulikflüssigkeit gefüllt sind und über mindestens einen Drosselspalt (**36**, **37**) miteinander in Verbindung stehen, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Übertragungselement ein erstes und ein zweites Kolbenelement (**21**, **23**; **121**) aufweist, wobei das erste Kolbenelement (**21**; **121**) fest mit dem Aktor (**8**) und das zweite Kolbenelement (**23**) fest mit dem Stellglied (**3**) verbunden ist, wobei zwischen dem ersten Kolbenelement (**21**; **121**) und dem zweiten Kolbenelement (**23**) die Hydraulikkammer (**22**) ausgebildet ist und wobei die Speicherkammer (**24**) einen druckbelasteten Speicherkammerbereich (**242**, **243**) umfasst, dessen Bereichsgrenzen elastisch ausgebildet sind.
2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der druckbeaufschlagte Speicherkammerbereich (**242**, **243**) durch eine Federbalganordnung (**25**, **26**; **125**) begrenzt wird.
3. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der druckbeaufschlagte Speicherkammerbereich (**242**, **243**) von einer Druckfeder (**28**) über eine Druckplatte (**27**; **127**) beaufschlagt wird.
4. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der druckbeaufschlagte Speicherkammerbereich (**242**, **243**) von einer Gasdruckfeder beaufschlagt wird.
5. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Kolbenelement (**21**; **121**) und das zweite Kolbenelement (**23**) in einem zweistufig ausgebildeten Innenbohrungsbereich eines Gehäuses (**1**) angeordnet sind, wobei das erste Kolbenelement (**21**; **121**) und das zweite Kolbenelement (**23**) so voreinander beabstandet sind, dass zwischen den sich gegenüberliegenden Stirnflächen im Bereich des Übergangs von einem ersten Bohrungsabschnitt (**31**) zu einem zweiten Bohrungsabschnitt (**32**) die Hydraulikkammer (**22**) ausgebildet ist, wobei der Hub des ersten Kolbenelements (**21**; **121**) entsprechend dem Verhältnis der Stirnflächen auf das zweite Kolbenelement (**23**) übersetzt wird.
6. Vorrichtung gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Speicherkammer (**24**) zweiteilig ausgebildet ist, mit einem ersten Speicherkammerbereich (**241**), der durch die untere Stirnfläche des zweiten Kolbenelements (**23**) und eine Durchführung (**14**, **15**, **16**) an dem Stellglied (**3**) begrenzt wird, und einem zweiten Speicherkammerbereich (**242**), der in einem den Aktor aufnehmenden Gehäusebereich (**34**) angeordnet und über eine Verbindungsbohrung (**223**) an den ersten Speicherkammerbereich (**241**) angeschlossen ist, wobei der zweite Speicherkammerbereich (**242**) durch zwei konzentrisch zueinander angeordnete Federbälge (**25**, **26**) und einem Druckring (**27**) begrenzt wird, auf dem eine Druckfeder (**28**) lastet.
7. Vorrichtung gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Kolbenelement (**121**) topfförmig ausgebildet und die Speicherkammer (**24**) dreiteilig ausgelegt ist, mit einem ersten Speicherkammerbereich (**241**), der von einer unteren Stirnfläche des zweiten Kolbenelements (**23**) und einer Durchführung (**14**, **15**, **16**) am Stellglied (**3**) begrenzt wird, einem zweiten

Speicherkammerbereich (242), der in einem den Aktor (8) aufnehmenden Gehäusebereich (34) um das erste Kolbenelement (121) herum ausgebildet ist, und einem dritten Speicherkammerbereich (243), der im ersten Kolbenelement (121) ausgebildet ist, wobei der erste Speicherkammerbereich (241) mit dem zweiten Speicherkammerbereich (242) über eine erste Verbindungsbohrung (223) im Gehäuse (1) und der zweite Speicherkammerbereich (242) mit dem dritten Speicherkammerbereich (243) über eine zweite Verbindungsbohrung (136) im ersten Kolbenelement (121) verbunden sind und wobei im dritten Speicherkammerbereich (243) eine Druckfeder (128), die zwischen einer Kopfplatte (10) des Aktors (8) und einer Druckplatte (127) eingespannt ist und von einem Federbalg (125) begrenzt wird, oder eine Gasdruckfeder angeordnet ist.

8. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Aktor (8) ein piezoelektrischer Multilayeraktor ist, der von einem Federelement (9) vorgespannt wird, und dass das erste Kolbenelement (21; 121) fest an eine Kopfplatte (10) des Multilayeraktors (8) angebracht ist.

9. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Aktor nach dem elektrostriktiven oder magnetostriktiven Prinzip arbeitet.

10. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Federbälge (25, 26; 125) Metallbälge sind, die sich vorzugsweise aus Halbkreissegmenten mit jeweils dazwischen liegenden geraden Teilstücken zusammensetzen.

11. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Federbälge (25, 26; 125) aus einem elastomeren Werkstoff hergestellt sind.

12. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Hydraulikkammer (22) so ausgelegt ist, dass die Federkonstante der Hydraulikkammer (22) mindestens 10^8 N/m beträgt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

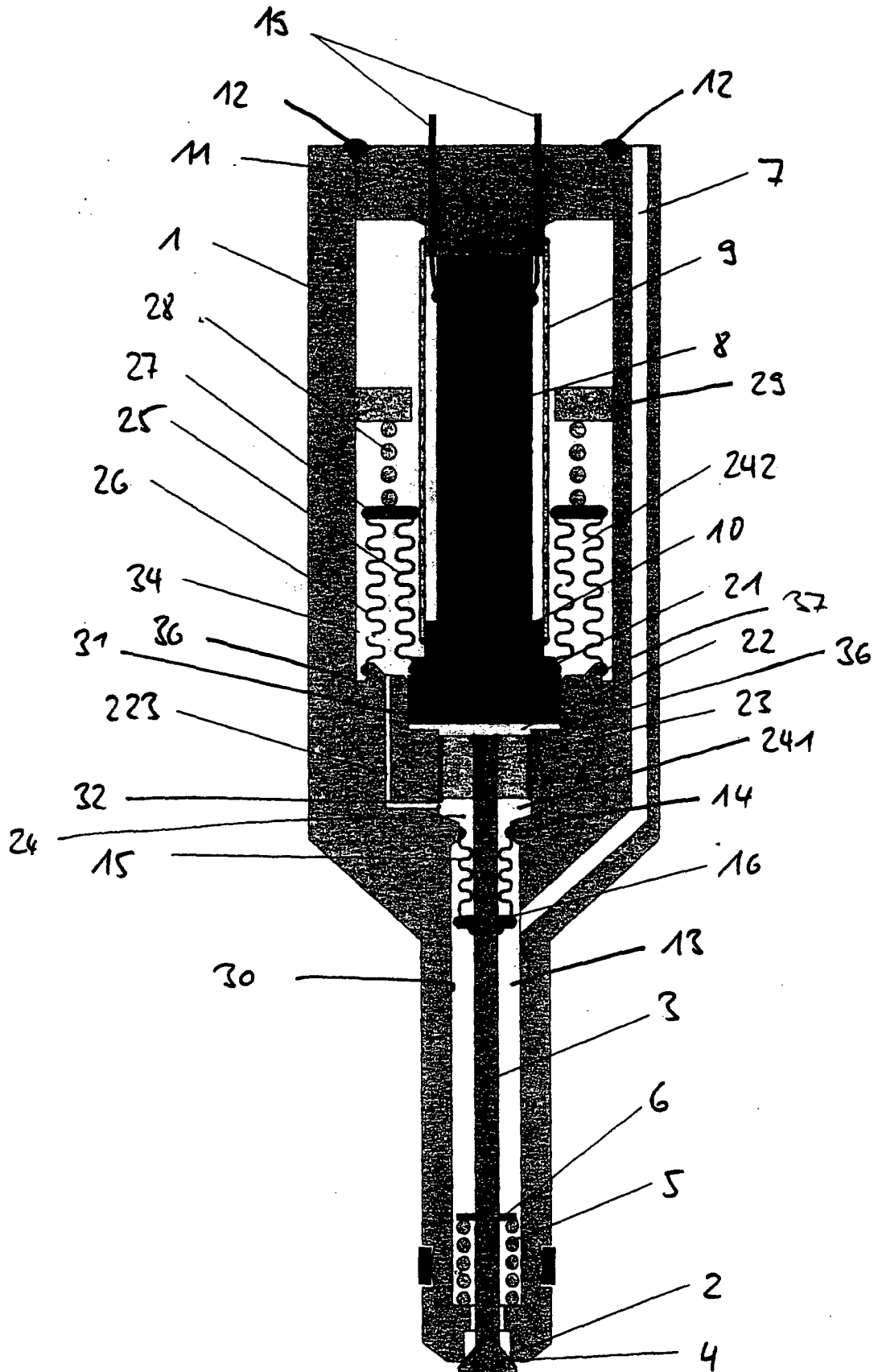


Fig. 2

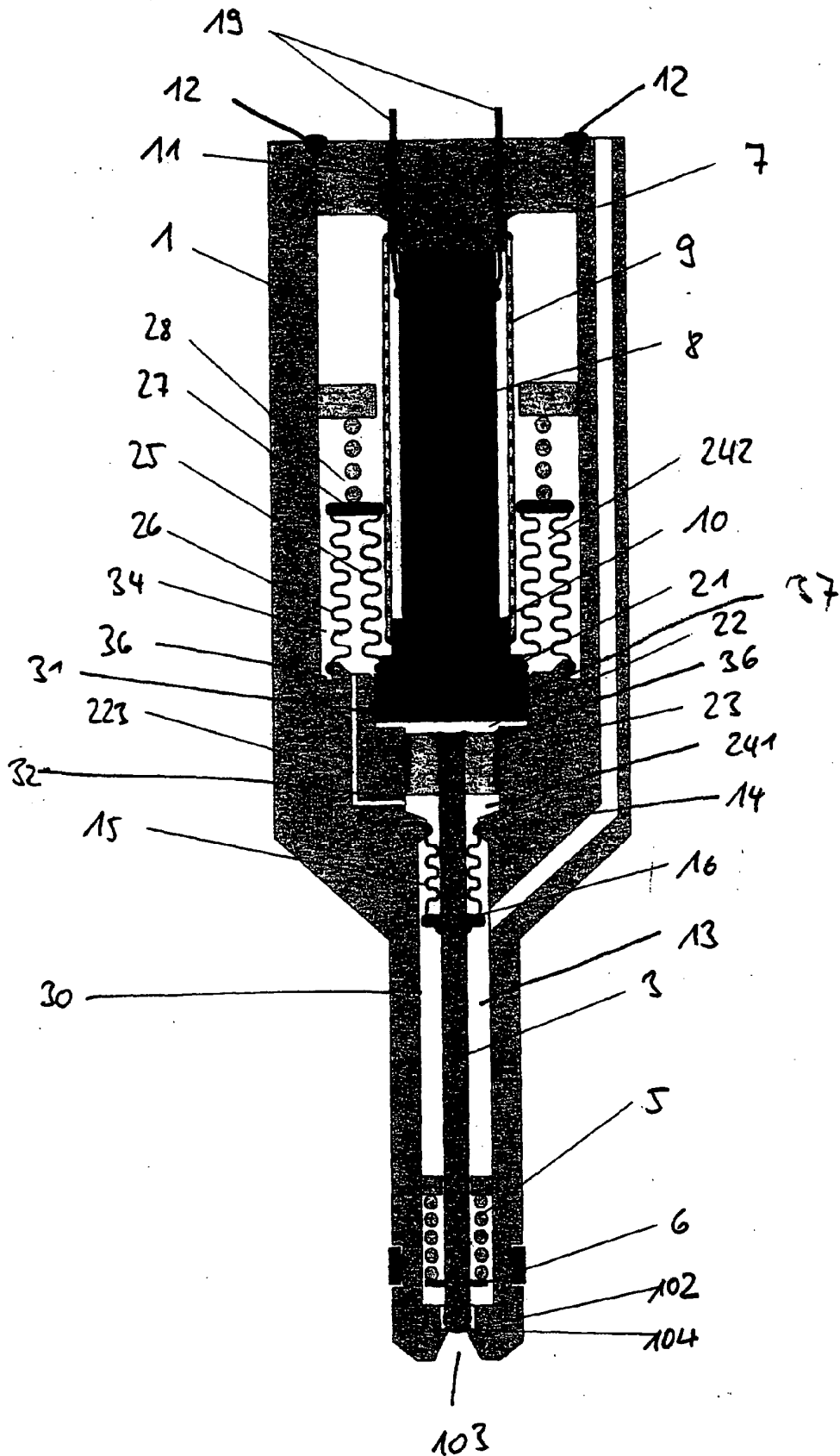


Fig. 3

