



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 198 54 506 C 1

51 Int. Cl.⁷:
G 01 F 13/00
F 02 M 61/16
// F15B 15/00,1/00

21 Aktenzeichen: 198 54 506.1-52
22 Anmeldetag: 25. 11. 1998
43 Offenlegungstag: -
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 20. 4. 2000

DE 198 54 506 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

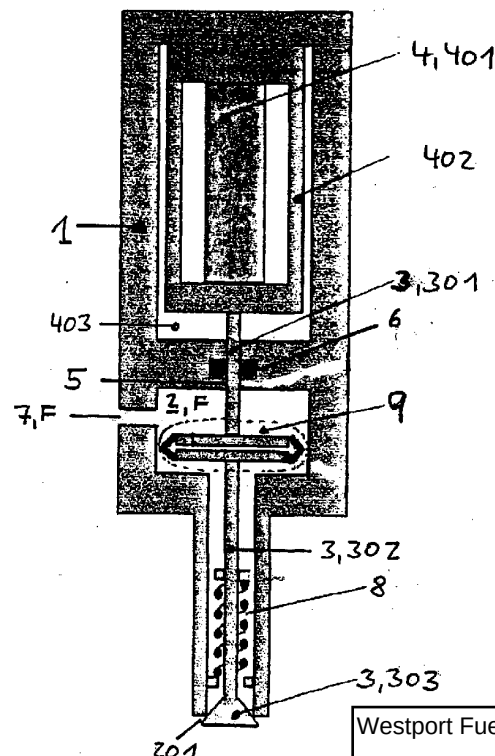
73 Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:
Gottlieb, Bernhard, Dipl.-Phys. Dr., 85764
Oberschleißheim, DE; Meixner, Hans, Prof.
Dipl.-Phys. Dr., 85540 Haar, DE; Kappel, Andreas,
Dipl.-Phys. Dr., 85649 Brunnthal, DE; Mock, Randolph,
Dipl.-Phys. Dr., 81739 München, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 43 06 072 A1

54 Dosiervorrichtung

- 57 Die Vorrichtung weist auf
- eine druckbeaufschlagbare Fluidkammer (2),
 - eine durch die Fluidkammer (2) axialverschiebbar ge-
führte Ventilnadel (2), mittels der eine Mündung (201) ver-
schließbar ist,
 - einen Stellantrieb (4) zur Bewegung der Ventilnadel (3),
 - ein in die Ventilnadel (2) integriertes Ausgleichselement
(9), das dieses in ein erstes Nadelteil (301) und ein zweites
Nadelteil (302) unterteilt,
- wobei
- das Ausgleichselement (9) aus einer Hydraulikkammer
(903) besteht, welche aus einer an dem ersten Nadelteil
(301) angebrachten ersten Wand (901), einer am zweiten
Nadelteil (303) angebrachten zweiten Wand (902) und ei-
ner diese verbindende flexible Außenwand (905) be-
grenzt wird,
 - die Hydraulikkammer (903) eine Durchführung (904) in
die Fluidkammer (2) aufweist, so daß eine schnelle Bewe-
gung eines Nadelteils (302, 303) hubverlustfrei auf das an-
dere Nadelteil (302, 303) übertragbar ist, und eine langsa-
me Bewegung eines Nadelteils (302, 303) durch eine Ab-
standsänderung der ersten Wand (901) und der zweiten
Wand (902) ausgleichbar ist.



Westport Fuel Systems Canada Inc.
EX 2001
Mercedes-Benz USA, LLC v.
Westport Fuel Systems Canada Inc.
IPR2023-00352
Page 1 of 10

DE 198 54 506 C 1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur dosierten Abgabe von Flüssigkeiten mit der Möglichkeit zum Ausgleich einer langsamen Längenänderung.

Bei einer herkömmlichen Dosiervorrichtung befindet sich in einem Gehäuse eine Fluidkammer, die mit einem Fluid druckbeaufschlagt wird und die in einen Außenraum mündet. Durch die Fluidkammer führt eine Ventilnadel, welche mittels eines Stellantriebs verschiebbar ist. Durch einen Hub des Stellantriebs kann die Ventilnadel so verschoben werden, daß sie entweder die Mündung freigibt, oder dichtend auf die Mündung aufsetzt.

Bei einer hohen Geschwindigkeit des Dosiervorgangs beträgt eine typische Auslenkung des Stellantriebs und der Ventilnadel 30 µm bis 40 µm. Eine typische temperaturbedingte Längenänderung der Ventilnadel und anderer Bauteile der Dosiervorrichtung liegt in der gleichen Größenordnung, wenn ein Temperaturbereich von -40°C bis +160°C zugrundegelegt wird, so wie es beispielsweise für einen Einspritzer in der Kraftfahrzeugtechnik relevant ist.

Da die Dosiervorrichtung während ihres Betriebs vielen unterschiedlichen Temperaturbelastungen (z. B. konstante Temperaturverteilung oder unterschiedlicher Temperaturgradient) ausgesetzt ist, treten beim Übergang zwischen unterschiedlichen Betriebszuständen an unterschiedlichen Bauteilen Längenänderungen im Bereich mehrerer Mikrometer auf, die sich nur teilweise gegenseitig kompensieren und zudem oft nur ungenau ermittelbar sind. Auch haben Alterungs- und Setzeffekte ebenfalls eine Längenänderung der Dosiervorrichtung zur Folge.

Die Differenz der Längenänderungen von mehreren Mikrometern zwischen dem Gehäuse einerseits und den innenliegenden Bauteilen der Dosiervorrichtung, wie z. B. der Ventilnadel, andererseits führt dazu, daß die Dosiervorrichtung entweder nicht funktionsgemäß öffnet oder nicht funktionsgemäß schließt.

Bisher wird unter anderem versucht, die Dosiervorrichtung durch eine geeignete Materialwahl der einzelnen Bauteile thermisch abzugleichen. Für einen relevanten Temperaturbereich von -40°C bis +160°C ist keine serientaugliche Methode zur Temperaturkompensation bekannt.

Aus der deutschen Patentanmeldung P 198 388 62.4 ist eine Dosiervorrichtung bekannt, bei der ein Stellantrieb die Bewegung einer Ventilnadel über eine Hydraulikkammer steuert. Die Hydraulikkammer ist mit einem in der Fluidkammer an die Ventilnadel angelenkten Hydrospeicher verbunden, welcher als Druckreservoir dient. Die Verbindung zwischen Hydraulikkammer und Hydrospeicher ist gedrosselt ausgeführt, so daß eine schnelle Bewegung des Stellantriebs auf die ungeteilte Ventilnadel hydraulisch übertragbar ist, während eine langsame Druckänderung in der Hydraulikkammer, beispielsweise durch eine thermische Längenänderung, durch Fluidausgleich mit dem Hydrospeicher kompensierbar ist.

In DE 43 06 072 A1 ist eine Dosiervorrichtung offenbart, bei der die mit Hydraulikflüssigkeit gefüllte Hydraulikkammer mit einer mit einem unter einem Überdruck stehenden Medium gefüllten Ausgleichskammer gedrosselt verbunden ist, und in der Ausgleichskammer eine am Gehäuse und der Ventilnadel angelenkte Membran die Hydraulikflüssigkeit vom Medium trennt.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Dosiervorrichtung bereitzustellen, welche auf einfache Weise eine Kompensation langsamer Längenänderungsdifferenzen einer Dosiervorrichtung ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 14 gelöst.

Die Idee der Erfindung basiert darauf, die Ventilnadel innerhalb der Fluidkammer mit einem Ausgleichselement auszustatten, welches eine schnelle Bewegung der Ventilnadel nahezu verlustfrei überträgt, während andererseits eine langsame Bewegung der Ventilnadel, beispielsweise durch temperaturbedingte Längenänderungen, weitgehend ausgeglichen wird.

Dazu wird die Ventilnadel durch das Ausgleichselement in ein erstes Nadelteil, das mit dem Stellantrieb verbunden ist, und in ein zweites Nadelteil, durch das die Mündung verschließbar ist, getrennt. Das Ausgleichselement besteht aus einer Hydraulikkammer, welche durch eine erste Wand, eine davon getrennte zweite Wand und eine die erste und die zweite Wand verbindende Außenwand begrenzt wird. Mittels mindestens einer Durchführung wird die Hydraulikkammer fluidisch mit der Fluidkammer verbunden.

Die Durchführung ist dabei so dimensioniert, daß bei einer schnellen Bewegung eines Nadelteils das Volumen der Hydraulikkammer so verändert wird, daß sich der Druck in ihr ändert.

Beispielsweise wird die Hydraulikkammer bei einer schnellen Bewegung des ersten Nadelteils in Richtung des zweiten Nadelteils komprimiert, so daß der Druck in der Hydraulikkammer ansteigt.

Die Durchführung ist also so klein, daß ein Abbau des Drucks des Fluids in der Hydraulikkammer durch einen Fluidfluß in die Fluidkammer die Übertragung der Bewegung des einen Nadelteils auf das jeweils andere Nadelteil nicht wesentlich beeinflusst.

Andererseits ist die Durchführung so weit, daß eine im Vergleich zur schnellen Bewegung eines Nadelteils langsame Bewegung, typischerweise um einen Faktor 100 bis 1000 mal langsamer, durch einen Druckabgleich von Hydraulikkammer und Fluidkammer ausgleichbar ist. Bei einer langsamen Bewegung eines Nadelteils wird also eine Druckänderung in der Hydraulikkammer so schnell durch einen Fluidaustausch mit der Fluidkammer ausgeglichen, daß die Bewegung des einen Nadelteils auf den jeweils anderen Nadelteil nicht übertragen wird.

Dies ist gleichbedeutend damit, daß die Hydraulikkammer eine langsame Verschiebung der Ventilnadel relativ zum Gehäuse durch eine Volumenänderung ohne Druckaufbau in der Hydraulikkammer kompensiert.

Eine thermisch oder durch Alterungs- oder Setzeffekte bedingte Verschiebung bzw. Dehnung der Ventilnadel und damit zusammenhängender Bauteile (z. B. des Aktors) im Vergleich zum Gehäuse wird somit durch einen geänderten Abstand zwischen der ersten Wand und der zweiten Wand des Ausgleichselementes ausgeglichen. Dieser Abstand wird in Ruhestellung durch das Gleichgewicht zwischen der auf die Ventilnadel in axialer Richtung wirkenden äußeren Kraft und der Federkraft der verbindenden Seitenwand eingestellt.

Ein Vorteil der Erfindung ist ihr sehr einfacher Aufbau, welcher im Gegensatz zu herkömmlichen Dosiervorrichtungen lediglich die Ausgestaltung der Ventilnadel betrifft.

Weiterhin ergibt sich der Vorteil, daß das Ausgleichselement in seiner Funktion in einem sehr weiten Bereich unemp-

findlich gegenüber einer Schwankung des Drucks des Fluids in der Fluidkammer ist.

Günstigerweise werden langsame Längenänderungsdifferenzen allgemeiner Art, die durch eine unterschiedliche Ausdehnung des Gehäuses einerseits und der Ventilnadel und damit im Kraftschluß zusammenhängender Bauteile andererseits ausgeglichen.

Eine schnelle Bewegung eines Nadelteils auf das jeweils andere Nadelteil wird vorteilhafterweise nahezu hubverlustfrei übertragen.

Zur einfachen Herstellung und zum einfachen Einbau des Ausgleichselements an die Ventilnadel ist es vorteilhaft, wenn die erste Wand und die zweite Wand senkrecht und zentriert zur Längsachse der Ventilnadel befestigt sind. Zusätzlich ist es zur einfachen Herstellung und Anwendung günstig, wenn die erste Wand und die zweite Wand scheibenförmig sind und den gleichen Durchmesser aufweisen.

Das Ausgleichselement ist unabhängig von der Form der ersten und zweiten Wand einsetzbar, wobei die Masse der beiden Wände zur Vermeidung von Trägheitseffekten für den jeweiligen Anwendungszweck vorteilhafterweise minimal ist.

Auch können die Wände zueinander radial versetzt sein oder in Bezug auf die Längsachse der Ventilnadel gekippt sein.

Zur Verwendung als Außenwand sind alle dem Fachmann geläufigen Mittel anwendbar, solange in longitudinaler Richtung weich und in radialer Richtung hart wirken. Dadurch wird eine Änderung des Abstands von erster Wand und zweiter Wand der Hydraulikkammer nicht wesentlich behindert und andererseits tritt keine signifikante Dehnung des Mittels in radialer Richtung auf.

Beispielsweise ist ein Einsatz eines Metallbalgs möglich, welcher aufgrund seiner hohen korrosiven Beständigkeit und seiner Langlebigkeit unter Wechsellast vorteilhafterweise aus Edelstahl besteht.

Es ist vorteilhaft, wenn die Außenwand außerhalb des Kontaktbereichs der ersten Wand und der zweiten Wand angebracht ist, so daß eine Beschädigung der Außenwand bei einer Berührung der beiden Wände vermeidbar ist.

Weiterhin ist es für die Dynamik der Bewegung der Ventilnadel vorteilhaft, wenn die fluidgefüllte Hydraulikkammer eine hohe Federkonstante aufweist, damit kein Hubverlust durch die Elastizität des eingeschlossenen Fluidvolumens auftritt. Eine hohe Steifigkeit der Hydraulikkammer läßt sich vorteilhafterweise durch eine geringe Kammerhöhe erreichen.

Es ist günstig, das Ausgleichselement in eine Dosiervorrichtung zur Kraftstoffeinspritzung, vorzugsweise bei einer Benzin-Direkteinspritzung, einzusetzen, weil die Anforderung an die Toleranz des Hubvorgangs der Ventilnadel in diesem Fall besonders hoch ist und sich somit ein besonders günstiger Effekt der thermischen Längenkompensation ergibt.

Allerdings ist die vorliegende Dosiervorrichtung nicht auf eine bestimmte Flüssigkeit beschränkt. Es können beispielsweise Wasser, Kraftstoffe aller Art (Benzin, Diesel, Alkohol) oder Tinte eingesetzt werden.

Das Ausgleichselement kann in Dosiervorrichtungen sowohl mit nach außen öffnenden als auch mit nach Innen öffnenden Ventilnadeln eingesetzt werden. Anwendungen sind z. B. auch allgemeine Zerstäubermitteln, beispielsweise zur Kühlung oder zur Beschichtung.

In den folgenden Ausführungsbeispielen wird die Dosiervorrichtung schematisch näher erläutert.

Fig. 1 zeigt ein Ausgleichselement,

Fig. 2 zeigt eine Dosiervorrichtung mit einem Ausgleichselement,

Fig. 3 zeigt eine herkömmliche Dosiervorrichtung.

Fig. 3 zeigt als Schnittdarstellung in Seitenansicht eine herkömmliche direkt angetriebene und nach außen öffnende Dosiervorrichtung. In einem Gehäuse **1** ist eine Fluidkammer **2** eingebracht, die an einer Mündung **201** nach außen führt. Durch die Fluidkammer **2** führt eine Ventilnadel **3**, die an einem Ende an einem Stellantrieb **4** befestigt ist. Der Stellantrieb **4** besteht aus einem Piezoaktor **401**, vorzugsweise einem keramischen Vielschicht-Piezoaktor, welcher innerhalb einer Antriebskammer **403** mittels einer Rohrfeder **402** unter einer Druckspannung gehalten wird und am Gehäuse **1** befestigt ist.

Die Ventilnadel **3** wird durch eine Durchführung **5** zwischen Antriebskammer **403** und Fluidkammer **2** axial verschiebbar geführt. Die Passung zwischen Ventilnadel **3** und Gehäuse **1** wird mittels einer Dichtung **6**, beispielsweise einem elastomeren O-Ring, fluidisch abgedichtet, so daß vorteilhafterweise kein Fluid **F** in die Antriebskammer **403** gelangt. Die Ventilnadel **3** ist an ihrem dem Stellantrieb **4** entgegengesetzten Ende mit einem Dichtkopf **303** ausgestattet, welcher von Außen, d. h. von außerhalb der Fluidkammer **2**, auf die Mündung **201** fluidisch dichtend aufsetzbar ist.

Zur Sicherung der Abdichtung der Mündung **201** im geschlossenen Zustand wird die Ventilnadel **3** mittels einer Rückstellfeder **8** in Richtung des Stellantriebs **2** gedrückt, so daß der Dichtkopf **303** auf das Gehäuse **1** gedrückt wird. Die Auflagefläche des Dichtkopfes **303** auf das Gehäuse **1** ist günstigerweise mindestens teilweise in Form eines Dichtsitzes ausgearbeitet. Die Fluidkammer **2** wird mittels einer Fluidzuleitung **7** mit einem Fluid **F** beaufschlagt, typischerweise unter einem Druck von 150 bar bis 2000 bar. Die Fluidzuleitung **7** kann ein Teil eines mehreren Dosiervorrichtungen gemeinsamen druckbeaufschlagten Fluidreservoirs sein, z. B. einem sog. "Common-Rail"-System.

Eine typische Auslenkung des Piezoaktors **401** während eines Dosiervorgangs und damit der Ventilnadel **3** liegt im Bereich von 10 µm bis 100 µm. Im Falle eines Kraftstoffeinspritzers liegt eine typische temperaturbedingte Längenänderung der Ventilnadel **3** und der anderen Bauteile der Dosiervorrichtung in der gleichen Größenordnung, wenn der gesamte kraftfahrzeugtechnisch relevante Temperaturbereich von -40°C bis +160°C zugrunde gelegt wird. Wird die Ventilnadel **3** mit einer Länge l_0 von ca. 30 mm aus Invar (Längenausdehnungskoeffizient $k' = 2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$) hergestellt, so ergibt sich eine Längenänderung $\Delta l = l_0 \cdot k' \cdot \Delta T = 12 \text{ µm}$. Bei einer Verwendung einer Ventilnadel **3** aus Stahl ist bei einem Längenausdehnungskoeffizienten k' von Stahl im Bereich von $10 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ bis $16 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ mit einer Längenänderung Δl von 60 µm bis 96 µm zu rechnen.

Teilweise kompensieren sich die thermischen Längenänderungen der einzelnen Bauteile gegenseitig, jedoch treten beim Übergang zwischen verschiedenen Temperaturzuständen typischerweise Unterschiede in den Längenänderungen im Bereich von mehreren Mikrometern auf.

Hinzu kommt, daß sich der thermische Längenausdehnungskoeffizient k' oft nur ungenau ermitteln läßt. Beispielsweise gilt für einen Piezoaktor **401** $k = \pm 3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$, so daß die genaue Längenänderung des Piezoaktors **401** nicht sicher

vorhersagbar ist. Eine betriebsbedingte Längenänderung des Piezoaktors **401** von mehreren Mikrometern kann aber zur Funktionsstörung der Dosiervorrichtung führen, z. B. zu einer ungewollten Abgabe von Fluid F im Ausgangszustand.

Auch Alterungs- und Setzeffekte haben Längenänderungen des Piezoaktors **401** im Bereich von Mikrometern zur Folge.

- 5 **Fig. 1** zeigt als Schnittdarstellung in Seitenansicht das an der Ventalnadel **3**, **301**, **302** befestigte Ausgleichselement **9**. Das in **Fig. 1** dargestellte Ausgleichselement **9** ist innerhalb der Fluidkammer **2** an der Ventalnadel **3** befestigt und teilt diese in ein erstes Nadelteil **301** und ein zweites Nadelteil **302**. Das Ausgleichselement **9** weist eine Hydraulikkammer **903** auf, welche durch eine erste Wand **901**, eine zweite Wand **902** und eine Außenwand **905** begrenzt wird.

- 10 Die erste Wand **901** und die zweite Wand **902** sind scheibenförmig ausgeführt und weisen den gleichen Durchmesser d_1 auf. Die erste Wand **901** ist an dem ersten Nadelteil **301** axial zentriert angebracht, analog ist die zweite Wand **902** am zweiten Nadelteil **302** axial zentriert angebracht. Der Abstand zwischen der ersten Wand **901** und der zweiten Wand **902** wird als Kammerhöhe h bezeichnet.

- 15 Die erste Wand **901** und die zweite Wand **902** sind typischerweise Stahlscheiben mit einem Durchmesser d_1 zwischen 5 mm und 25 mm und einer Dicke im Bereich jeweils eines Millimeters. Als Außenwand **905** dient ein Edelstahlbalg mit einer Welle, der mit der ersten Wand **901** und der zweiten Wand **902** an ihrem jeweiligen Rand verschweißt ist, so daß sich eine günstige Kammerhöhe h von 20 μm bis 250 μm ergibt. Der Durchmesser d_2 des gesamten Ausgleichselementes ist einige Millimeter größer als der Durchmesser d_1 der Stahlscheiben.

- 20 Die Hydraulikkammer **903** ist über mindestens eine fluidisch drosselnde Durchföhrung **904**, hier in Form einer durch die erste Wand **901** föhrenden Mikrobohrung, mit der Fluidkammer **2** verbunden. Die Mikrobohrung besitzt einen Durchmesser d_b . Die Form der Durchföhrung **904** kann auf den Verwendungszweck abgestimmt sein. Beispielsweise ist auch eine schlitzförmige oder vieleckige Durchföhrung **904** einsetzbar.

Die Hydraulikkammer **903** ist mit Fluid F gefüllt und mit dem umgebenden Fluid F hydrostatisch gekoppelt. Dies bedeutet, daß in der Hydraulikkammer **903** und in der Fluidkammer **2** in Ausgangsstellung statisch der gleiche Druck vorliegt und somit das Ausgleichselement **9** weitgehend kräftefrei ist, da die Außenwand **905** mechanisch flexibel ist.

- 25 Das Ausgleichselement **9** nutzt für seine Funktion die Entkoppelung zweier Zeitskalen: temperaturbedingte oder durch setz- und alterungsbedingte Längenänderungen der Dosiervorrichtung erfolgen relativ langsam im Zeitraum von mehreren Sekunden. Demgegenüber liegt die Dauer eines Dosiervorgangs oft im Bereich von bis zu 10 ms und der zugehörige Öffnungs- und Schließvorgang im Bereich von 1 μs bis 10 μs . In diesem Fall entspricht also "schneller" in etwa dem Verhältnis der zugrundegelegten Zeitskalen, also 1 s zu 10 ms, entsprechend einem Faktor von mindestens 100.

- 30 Durch eine entsprechende Dimensionierung der Durchföhrung (**904**) ist aber auch, z. B. für einen anderen Anwendungsfall, ein geringerer Faktor einstellbar.

Dementsprechend wird der Durchmesser d_b der Durchföhrung **905** abgestimmt. Eine Längenänderungsdifferenz in der Dosiervorrichtung, die sich auf die Ventalnadel **3** auswirkt, wird durch eine Änderung der Kammerhöhe h abgefangen. Der Durchmesser d_b wird dazu so gewählt, daß das durch eine Bewegung der Ventalnadel **3** erzeugte Differenzvolumen in der Hydraulikkammer **903** im Zeitrahmen eines mehrfachen der Zeitdauer eines Dosiervorgangs ausgetauscht wird, hier: mindestens 100 mal der Einspritzdauer von 10 ms, also in der Größenordnung von Sekunden.

- 35 Der Durchmesser d_b wird andererseits so klein gewählt, daß während einer Dosierdauer, z. B. von 10 μs , kein nennenswerter Volumenaustausch zwischen der Hydraulikkammer **903** und der Fluidkammer **2** stattfindet, so daß innerhalb dieser Zeit Kräfte vom einen Nadelteil **301**, **302** auf das jeweils andere Nadelteil **302**, **301** mittels des Fluids F in der Hydraulikkammer **903** nahezu hubverlustfrei übertragen werden.

Weiterhin weist die fluidgefüllte Hydraulikkammer **903** vorteilhafterweise eine hohe Federkonstante auf, so daß kein Hubverlust durch die Elastizität des eingeschlossenen Fluids F auftritt. Eine solche hohe Steifigkeit der Hydraulikkammer **903** wird beispielsweise durch eine geringe Kammerhöhe h erreicht, hier typischerweise im Bereich von 100 μm .

- 45 Es ist je nach Anwendung vorteilhaft, mehrere Durchföhrungen **905** in das Ausgleichselement **9** einzubringen. Es ist auch möglich, die mindestens eine Durchföhrung **905** durch die zweite Wand **902**, die Außenwand **905** oder bei mehreren Durchföhrungen **905** durch eine beliebige Anordnung mit der Fluidkammer **2** zu verbinden.

Fig. 1 zeigt als Schnittdarstellung in Seitenansicht eine nach außen öffnende Dosiervorrichtung analog zu **Fig. 3** mit eingebautem Ausgleichselement **9**.

- 50 In diesem Ausführungsbeispiel wird eine Dosiervorrichtung zur Einspritzung von Benzin in einen Kraftstoffmotor beschrieben.

Das Ausgleichselement **9** weist die folgenden Daten auf:

$d_1 = 8 \text{ mm}$

$d_2 = 13 \text{ mm}$

Höhe der als Welle ausgeführten Außenwand **905**: 1,4 mm

- 55 Wandstärke der Welle: 0,1 mm

Federweg: $\pm 150 \mu\text{m}$

Federkonstante: 0,14 N/ μm

Druckbelastbarkeit: 30 bar

- 60 Legt man eine für Benzin typische Kompressibilität von $\kappa = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{N}$ zugrunde, so ergibt sich für die Federkonstante k der Hydraulikkammer **903** bei einer Kammerhöhe $h = 1 \text{ mm}$ die Beziehung

$$k = (\pi (d_2/2)^2)/(h \cdot \kappa) = 170 \text{ N}/\mu\text{m}.$$

- 65 Bei einem Dosiervorgang wird zum Öffnen der Dosiervorrichtung zunächst das erste Nadelteil **301** mittels des Stellantriebs **4** in Richtung des zweiten Nadelteils **302** verschoben. Die dabei vom Ausgleichselement **9** zu übertragenden Kräfte setzen sich aus zwei Anteilen zusammen:

I) Die Schließkraft der Rückstellfeder **8** muß überwunden werden. Typischerweise werden hierzu Kräfte $> 10 \text{ N}$

vorgesehen.

II) Die Trägheitskraft der Ventilnadel **3** und der des Ausgleichselementes **9** muß übertragen werden. Bei einer Länge der Ventilnadel **3** von 25 mm, einem Durchmesser $d_n = 2$ mm und einer Dichte $\rho_N = 8000 \text{ kg/m}^3$ für Invar folgt eine träge Masse der Ventilnadel **3** von ca. 0,6 g. Die erste, scheibenförmige Wand **901** mit einer Dicke von 1 mm und einem Durchmesser von 8 mm ergibt eine träge Masse von etwa 0,4 g. Somit ergibt sich ungefähr eine gesamte bewegte Masse von Ventilnadel **3** und Ausgleichselement **9** von 1 g.

Bei einer mittleren Betätigungsdauer von 100 μs und einer darin enthaltenen Dauer der anfänglichen Beschleunigungsphase von 10 μs sowie einer Auslenkung des ersten Nadelteils **301** von 40 μm folgt eine Geschwindigkeit der Ventilnadel **3** von 0,4 m/s und eine Beschleunigung von 4000 m/s^2 , woraus sich eine Trägheitskraft von 40 N ergibt.

Insgesamt muß das Ausgleichselement **9** maximal Kräfte bis zu 50 N übertragen. Dazu baut sich eine Druckdifferenz in der Hydraulikkammer von 4 bar zwischen der Hydraulikkammer **903** und der Fluidkammer **2** auf.

Im Ausgangszustand ist der Piezoaktor **401** in axialer Richtung kontrahiert, z. B. kurzgeschlossen, und wird mittels der Rohrfeder **402** unter einer Druckspannung gehalten. Das an der Rohrfeder **402** befestigte erste Nadelteil **301** der Ventilnadel **3** ist entsprechend maximal aus der Fluidkammer **2** zurückgezogen. Der am zweiten Nadelteil **302** befestigte Dichtkopf **303** wird mit Hilfe der Rückstellfeder **8** auf einen Ventilsitz (?) des Gehäuses **1** fluidisch dichtend aufgedrückt und sperrt so die Mündung **201** der Fluidkammer **2** ab. Der Dichtkopf **303** liegt von Außen auf der Mündung **201** auf, er wird also in Richtung der Fluidkammer **2** gedrückt.

Im Ausgangszustand ist aufgrund der mindestens einen Durchführung **904** der Druck des Fluids F in der Hydraulikkammer **903** dem Druck in der umgebenden Fluidkammer **2** angeglichen.

Kommt es am Einspritzer zu einer Änderung einer Temperatur, so können sich das Gehäuse **1** oder die im Gehäuse befindliche Teile **4**, **402**, **301**, **9**, **302**, **303** dehnen. Falls die Dehnung des Gehäuses **1** von der Dehnung der Ventilnadel **3** oder den daran angreifenden Teilen **4**, **402**, **9** verschieden ist, so wird das Kraftgleichgewicht am Ausgleichselement **9** über die Kammerhöhe h neu eingestellt. Die aus der veränderten Kammerhöhe h resultierende Druckdifferenz in der Hydraulikkammer **903** wird durch einen Austausch von Fluid F mit der Fluidkammer **2** abgebaut.

Beispielsweise wird dann, wenn die Ventilnadel **3** aufgrund einer thermischen Längenänderung stärker elongiert wird als das Gehäuse **1**, die Kammerhöhe h abgesenkt. Es findet dann ein Fluß von Fluid F aus der Hydraulikkammer **903** in die Fluidkammer **2** statt.

Dadurch wird beispielsweise erreicht, daß der durch die Rückstellfeder **8** ausgeübte Anpreßdruck zwischen Dichtkopf **303** und Ventilsitz (?) nicht signifikant verringert oder verstärkt wird.

Bei der im Vergleich zur Dauer eines Dosiervorgangs langsamen thermischen Längenausdehnung kann das Fluid F so schnell ausgetauscht werden, daß es zu keiner wesentlichen Kraftübertragung zwischen dem ersten Nadelteil **301** und dem zweiten Nadelteil **302** kommt. Die von dem Fluid F in der Hydraulikkammer **903** übertragene Kraft ist somit vernachlässigbar gering.

Es vorteilhaft, wenn die Außenwand **905** eine möglichst geringe Federkonstante k aufweist, so daß eine Längenänderungsdifferenz zwischen Gehäuse **1** und innenliegenden Teilen **4**, **402**, **3**, **301**, **302**, **9** eine möglichst kleine Kraftübertragung bewirkt.

Die gleiche Überlegung gilt auch für eine Längenänderung, die auf einem Alterungs- oder Setzeffekt beruht.

Beim Öffnen der Dosiervorrichtung wird das erste Nadelteil **301** mittels des Stellantriebs so schnell in Richtung des zweiten Nadelteils **302** bewegt, das aufgrund des geeignet dimensionierten Durchmessers d_b der Durchführung **904** nur ein vernachlässigbar kleiner Volumenaustausch zwischen Hydraulikkammer **903** und Fluidkammer **2** stattfinden kann. Hierdurch ist die Kraftübertragung zwischen den beiden Nadelteilen **301**, **302** über das Fluid F in der Hydraulikkammer nicht mehr vernachlässigbar. Vielmehr wird die Kompressibilität der Hydraulikkammer **903** nun vor allem durch die Kompression des darin befindlichen Fluides F bestimmt. Dies ist analog zu einer zur Außenwand **905** parallelen Einschaltung einer – möglichst steifen – Feder.

Aufgrund dieser zusätzlichen Kraftübertragung wird somit eine schnelle Bewegung des ersten Nadelteils **301** auf das zweite Nadelteil **302** zur Abhebung des Dichtkopfes **303** von der Mündung **201** und damit zur Öffnung des Einspritzers erreicht.

Eine beim schnellen Öffnen der Dosiervorrichtung durch das Abheben des Dichtkopfes **303** von der Mündung **201** und den dadurch bewirkten Ausstoß von Fluid F aus der Fluidkammer **2** entstehende Druckwelle stört die Funktion der Dosiervorrichtung nur unwesentlich.

Zum Schließen wird der Piezoaktor vergleichsweise schnell kontrahiert, so daß das erste Nadelteil **301** und über das Ausgleichselement **9** auch das zweite Nadelteil **302** wieder ohne signifikante Verzögerung zurückgezogen werden, so daß der Dichtkopf **303** fluidisch dichtend auf dem Gehäuse **1** aufsetzt und die Mündung **201** verschließt.

Entscheidend für die Funktion des Ausgleichselements **9** ist die Öffnungsfläche, hier: der Durchmesser d_b , der mindestens einen Durchführung **904**. Als Abschätzung für einen nachteiligen im Betrieb auftretenden Fall wird folgende Abschätzung getroffen:

Die maximale Einspritzdauer betrage 10 ms. Über diese Einspritzdauer wird vom Ausgleichselement **9** eine Kraft von 50 N übertragen und ein Druckunterschied Δp zwischen Hydraulikkammer **903** und Fluidkammer **2** von 4 bar aufrechterhalten. Die maximal zulässige Änderung der Kammerhöhe h über die Einspritzdauer wird mit 1 μm festgelegt.

Aus der Dimensionierung der Hydraulikkammer **903** folgt, daß der mittlere Volumenstrom Q, welcher mit Hilfe der Bernoulli-Gleichung, einem typischen Drosselbeiwert von 1,8 und einer Dichte ρ_F des Fluids F zu

$$Q = \left(\frac{d_b}{2}\right)^2 \cdot \pi \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{1,8 \cdot \rho_F}}$$

berechnet wird, über die Einspritzdauer maximal $132,7 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{s}$ betragen darf.

Damit ergibt sich ein maximaler Durchmesser d_b der Durchführung **904**, hier in Form einer Mikrobohrung, von

23 µm. In der Praxis müssen nur während der Beschleunigungsphasen Kräfte bis zu 50 N übertragen werden. Die Dauer der Beschleunigung beträgt aber nur etwa 10 µs. Während der verbleibenden Dosierzeit muß nur die Kraft der Rückstellfeder **8** von ca. 10 N gehalten werden. Daher kann der Durchmesser in praxi deutlich größer gewählt werden.

5

Patentansprüche

1. Dosiervorrichtung, aufweisend

- eine mit einem Fluid (F) druckbeaufschlagbare Fluidkammer (**2**), an der eine Mündung (**201**) nach außen führt,
- eine durch die Fluidkammer (**2**) axialverschiebbar geführte Ventilnadel (**3**), mittels der die Mündung (**201**) verschließbar ist,
- einen Stellantrieb (**4**), über dessen Hub eine Bewegung der Ventilnadel (**3**) zum Öffnen und Verschließen der Mündung (**201**) steuerbar ist,
- ein innerhalb der Fluidkammer (**2**) in die Ventilnadel (**2**) integriertes Ausgleichselement (**9**), das die Ventilnadel (**2**) in ein erstes Nadelteil (**301**), das mit dem Stellantrieb (**2**) verbunden ist, und ein zweites Nadelteil (**302**), durch das die Mündung (**201**) verschließbar ist, unterteilt,

wobei

- das Ausgleichselement (**9**) aus einer am ersten Nadelteil (**301**) angebrachten ersten Wand (**901**), einer davon getrennten, am zweiten Nadelteil (**303**) angebrachten zweiten Wand (**902**) und einer die erste Wand (**901**) und die zweite Wand (**902**) verbindenden flexiblen Außenwand (**905**) besteht, wodurch eine Hydraulikkammer (**903**) gebildet wird,
- die Hydraulikkammer (**903**) mit der Fluidkammer (**2**) mittels mindestens einer Durchführung (**904**) fluidisch verbunden ist, und die Durchführung (**904**) so ausgeführt ist, daß eine schnelle Bewegung eines Nadelteils (**302**, **303**) weitgehend hubverlustfrei auf das jeweils andere Nadelteil (**302**, **303**) übertragen wird, während eine langsame Bewegung mindestens eines Nadelteils (**302**, **303**) durch eine Abstandsänderung der ersten Wand (**901**) und der zweiten Wand (**902**) ausgeglichen wird.

2. Dosiervorrichtung nach Anspruch 1, bei der das zweite Nadelteil (**302**) mittels einer Rückstellfeder (**8**) auf die Mündung (**201**) gedrückt wird.

3. Dosiervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei der die Ausgleichswirkung des Ausgleichselements (**9**) erst merklich wird, wenn die langsame Bewegung mindestens um einen Faktor 100 langsamer ist als die schnelle Bewegung.

4. Dosiervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die erste Wand (**901**) und die zweite Wand (**902**) scheibenförmig sind und senkrecht und zentriert zu einer Längsachse der Ventilnadel angebracht sind.

5. Dosiervorrichtung nach Anspruch 4, beider die erste Wand (**901**) und die zweite Wand (**902**) den gleichen radialen Durchmesser (d1) aufweisen.

6. Dosiervorrichtung nach Anspruch 5, bei der der Durchmesser (d1) 5 mm bis 25 mm beträgt.

7. Dosiervorrichtung nach Anspruch 4 bis 6, bei der der eine Kammerhöhe (h) der Hydraulikkammer (**903**) 20 µm bis 250 µm beträgt.

8. Dosiervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Außenwand (**905**) ein Balg mit mindestens einer Welle ist, welche außerhalb des maximalen Kontaktbereichs zwischen erster Wand (**901**) und zweiter Wand (**902**) umlaufend und fluidisch dichtend angebracht ist.

9. Dosiervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Fluidkammer (**2**) mit einem Druck des Fluids (F) von 150 bar bis 2000 bar beaufschlagbar ist.

10. Dosiervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Mündung (**201**) durch Aufsatz der Ventilnadel (**3**) von Außen verschließbar ist.

11. Dosiervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Mündung (**201**) durch Aufsatz der Ventilnadel (**3**) von Innen verschließbar ist.

12. Verwendung einer Dosiervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Dosierung von Kraftstoff als Fluid (F).

13. Verwendung einer Dosiervorrichtung nach Anspruch 12 in einem Verbrennungsmotor.

14. Verfahren zur Dosierung von Fluid mittels eines Ventils mit

- einer Fluidkammer (**2**), an der eine Mündung (**201**) nach außen führt,
- einer Ventilnadel (**3**), die axial verschiebbar durch die Fluidkammer (**2**) geführt ist und mittels des Hubs eines Stellantriebs (**4**) zum Öffnen und Verschließen der Mündung (**201**), bewegt wird, und
- einem in die Ventilnadel (**3**) integrierten Ausgleichselement (**9**), das die Ventilnadel (**3**) in ein erstes Nadelteil (**301**), das am Stellantrieb (**4**) befestigt wird, und ein zweites Nadelteil (**302**), trennt, wobei das Ausgleichselement (**9**) aus einer ersten, am ersten Nadelteil (**301**) angebrachten Wand (**901**), einer davon getrennten, am zweiten Nadelteil (**302**) angebrachten zweiten Wand (**902**) und einer die erste Wand (**901**) und die zweite Wand (**902**) verbindenden flexiblen Außenwand (**905**) besteht, wodurch eine Hydraulikkammer (**903**) gebildet wird, die durch mindestens eine Durchführung (**904**) mit der Fluidkammer (**2**) fluidisch verbunden ist, und die Durchführung (**904**) so ausgeführt ist, daß eine schnelle Bewegung eines Nadelteils (**301**, **302**) weitgehend hubverlustfrei auf das jeweils andere Nadelteil (**301**, **302**) übertragen wird, während eine langsame Bewegung eines Nadelteils (**302**, **303**) durch eine Abstandsänderung zwischen erster Wand (**901**) und zweiter Wand (**902**) ausgeglichen wird,

bei dem

im Ausgangszustand die Ventilnadel (**3**) mittels des Stellantriebs (**4**) so weit verschoben ist, daß das zweite Nadelteil (**302**) die Mündung (**201**) verschließt, und das Fluid in der Fluidkammer (**2**) druckbeaufschlagt ist, bei einem Öffnungsvorgang der Stellantrieb (**4**) das erste Nadelteil (**301**) so schnell verschiebt, daß das zweite

- Nadelteil (302) über das Ausgleichselement (9) weitgehend hubverlustfrei folgt, so daß die Ventalnadel (3) von der Mündung (201) abgehoben wird und Fluid (F) nach Außen abgegeben wird, und die Ventalnadel (3) mittels des Stellantriebs (4) in den Ausgangszustand zurück verschoben wird, bevor das Ausgleichselement (9) merklich ausgleichend wirksam werden kann.
15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem
 - im Ausgangszustand mindestens die Mündung (201) mittels eines Dichtkopfs (303) des zweiten Nadelteils (302) von außen verschlossen wird,
 - bei einem Öffnungsvorgang vom Stellantrieb (4) das erste Nadelteil (301) in Richtung des zweiten Nadelteils (302) verschoben wird, wodurch der Druck des Fluids (F) in der Hydraulikkammer (903) erhöht wird, wodurch das zweite Nadelteil (302) weitgehend hubverlustfrei so verschoben wird, so daß es den Dichtkopf (303) von der Mündung (201) abhebt, wodurch Fluid (F) aus der Fluidkammer (4) in den Außenraum abgegeben wird.
 16. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem
 - im Ausgangszustand die Mündung (201) in Form mindestens einer Einspritzöffnung mittels eines Aufsatzes des zweiten Nadelteils (302) von innen verschlossen wird,
 - bei einem Öffnungsvorgang das erste Nadelteil (302) mittels des Stellantriebs (4) aus der Fluidkammer (2) verschoben wird, wodurch der Druck des Fluids (F) in der Hydraulikkammer (903) erniedrigt wird, wodurch das zweite Nadelteil (302) weitgehend hubverlustfrei von der Mündung (201) abgehoben wird, wodurch Fluid (F) aus der Fluidkammer (4) in den Außenraum abgegeben wird.
 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, bei dem eine schnelle Bewegung der Ventalnadel (3) innerhalb von 1 µs bis zu 10 ms ausgeführt wird.
 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17, bei dem eine langsame Bewegung der Ventalnadel (3) mindestens um einen Faktor 100 länger dauert.
 19. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 18, bei dem das zweite Nadelteil (302) mittels eines Federelementes (8) auf die Mündung (201) gepreßt wird.
 20. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 14 bis 19 in einem Kraftstoffeinspritzer.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG 1

