



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
28.09.2011 Patentblatt 2011/39

(51) Int Cl.:
F02M 51/06 (2006.01) F02M 63/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11154810.3**

(22) Anmeldetag: **17.02.2011**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(30) Priorität: **26.03.2010 DE 102010003334**

(71) Anmelder: **Robert Bosch GmbH**
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
• **Kessler, Martin**
73527, Schwaebisch Gmuend (DE)
• **Burger, Matthias**
71711, Murr (DE)
• **Foster, Keir**
70180, Stuttgart (DE)
• **Rain, Oliver**
71277, Ruthesheim (DE)
• **Beier, Marco**
70469, Stuttgart-Feuerbach (DE)
• **Schmidt, Herbert**
8623, Wetzikon (CH)

(54) **Kraftstoffinjektor**

(57) Die Erfindung betrifft einen Kraftstoffinjektor zum Einspritzen von Kraftstoff in den Brennraum einer Brennkraftmaschine mit einer ersten Aktoreinheit (1) und wenigstens einer weiteren Aktoreinheit (2) zur Betätigung einer hubbeweglichen Düsennadel (3), durch deren Hubbewegung wenigstens eine Einspritzöffnung (4) des Kraftstoffinjektors freigebbar oder verschließbar ist, wobei die Aktoreinheiten (1, 2) unabhängig voneinander ansteuerbar und über eine Kopplungseinrichtung (5) an die Düsennadel (3) koppelbar sind.

Erfindungsgemäß umfasst die Kopplungseinrichtung (5) ein hydraulisches Kopplervolumen (6), das von einer an der Düsennadel (3) ausgebildeten hydraulischen Wirkfläche (A_N) und wenigstens einer weiteren hydraulischen Wirkfläche (A_1, A_2) begrenzt wird, welche an einem mit einer Aktoreinheit (1, 2) zusammenwirkenden Übertragungselement (7, 8) ausgebildet ist, so dass über das Flächenverhältnis der hydraulischen Wirkflächen (A_1/A_N und/oder A_2/A_N) in einer ersten Phase des Öffnungshubes der Düsennadel (3) eine Kraftverstärkung und/oder in einer zweiten Phase des Öffnungshubes der Düsennadel (3) eine Wegverstärkung bewirkbar ist.

Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Ansteuerung einer Düsennadel.

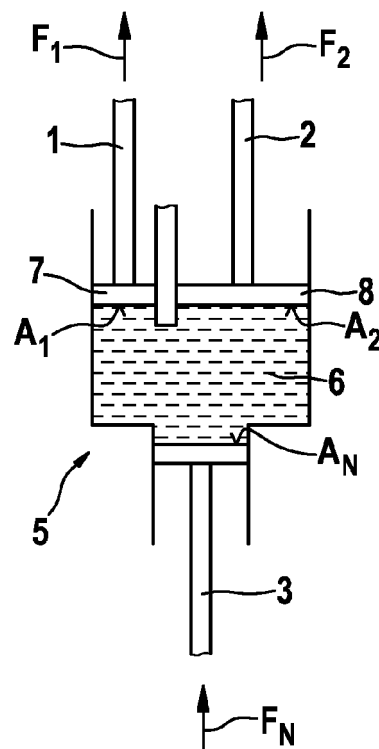


Fig. 1

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Kraftstoffinjektor zum Einspritzen von Kraftstoff in den Brennraum einer Brennkraftmaschine mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Ansteuerung einer hubbeweglichen Düsennadel eines Kraftstoffinjektors mit den Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruchs 10.

[0002] Kraftstoffinjektoren der vorstehend genannten Art werden beispielsweise für die Diesel-Direkteinspritzung eingesetzt, wobei der Druck des einzuspritzenden hydraulischen Mediums (Dieselkraftstoff) bis zu 2500bar betragen kann. Die Einspritzung erfolgt über wenigstens eine Einspritzöffnung des Kraftstoffinjektors, welche durch die Hubbewegung einer Düsennadel freigebbar oder verschließbar ist. Zur Freigabe der Einspritzöffnung nimmt die Düsennadel eine Position ein, in der sie weitgehend kraftausgeglichen ist. D.h., dass gleichmäßige Druckverhältnisse herrschen und die auf die Düsennadel wirkenden Druckkräfte weitgehend ausgeglichen sind. Im geschlossenen Zustand der Düsennadel wird diese jedoch von einer Schließkraft beaufschlagt, die sich aus dem Hydraulikdruck und dem Querschnitt der Düsennadel ergibt. Diese Schließkraft kann im Bereich einiger 100 Newton liegen. Zum Öffnen der Düsennadel und zum Freigeben der Einspritzöffnung ist daher ein leistungsstarker Aktor erforderlich, der die auf die Düsennadel wirkende Schließkraft zu überwinden vermag.

[0003] In der Regel werden Magnetaktoren oder Festkörperaktoren, wie beispielsweise Piezoaktoren, zur Betätigung der Düsennadel eingesetzt. Die Betätigung kann direkt oder indirekt, d.h. unter Zwischenschaltung eines Steuerventils zur Regelung eines die Düsennadel beaufschlagenden Steuerdrucks erfolgen. Zwar reduziert sich die Kraftanforderung an den Aktor bei Einsatz einer indirekten Nadelsteuerung deutlich, die indirekte Nadelsteuerung weist jedoch den Nachteil auf, dass zur Regelung des Steuerdrucks eine abgesteuerte Menge Kraftstoff einem Rücklauf zugeführt werden muss. Zudem erweist sich die indirekte Nadelsteuerung gegenüber der direkten Nadelsteuerung als tendenziell träger.

[0004] Die direkte Nadelsteuerung erfordert zum Überwinden der auf die Düsennadel wirkenden hohen Schließkraft einen besonders leistungsstarken Aktor. Bevorzugt finden hier Piezoaktoren Einsatz, mittels welcher hohe Stellkräfte zum Anheben der Düsennadel realisierbar sind. Nach dem Anheben der Düsennadel strömt der unter hohem Druck stehende Kraftstoff unter die Düsennadel, so dass sich ein hydraulischer Kraftausgleich einstellt. Die Anforderungen an den Aktor hinsichtlich der erforderlichen Stellkraft nehmen demzufolge deutlich ab. Gleichzeitig muss der Aktor einen ausreichenden Stellweg besitzen, um das vollständige Öffnen der Düsennadel zu gewährleisten. Letzteres ist mit einem Piezoaktor nur schwer darstellbar.

[0005] Im Zusammenhang mit einer direkten Nadelsteuerung wurde in der Vergangenheit bereits vorgeschlagen, eine Mehrzahl identischer Aktoren parallel zu schalten, um die Kraftanforderungen zu erfüllen. Als Beispiel wird die Druckschrift WO2006/002953 A1 genannt, welche den Einsatz mehrerer identischer Magnetaktoren offenbart. Um die geometrischen Randbedingungen zu erfüllen, sind diese seriell angeordnet. Als Nachteil erweist sich jedoch, dass eine große Anzahl Aktoren benötigt wird, wodurch die Herstellungskosten steigen. Des Weiteren wird eine Leistung bereitgestellt, die in den meisten Arbeitspunkten nicht benötigt wird, da nach Überwinden der Schließkraft der Kraftbedarf deutlich sinkt.

[0006] Aus der Druckschrift US 2003/0116657 A1 geht ein Kraftstoffinjektor mit einer direkten Nadelsteuerung unter Verwendung zweier Magnetkreise hervor, wobei die Magnetkreise unabhängig voneinander ansteuerbar sind. Die Magnetkreise können demnach gemeinsam oder separat aktiviert werden, so dass eine Kraftanforderungen entsprechende Leistung erbracht wird. Bei gleichzeitiger Aktivierung beider Magnetkreise erfolgt eine Verstärkung der Aktorkraft, die dazu genutzt werden kann, die auf die Düsennadel wirkende hohe Schließkraft zu überwinden. Darüber hinaus wird vorgeschlagen, zwei qualitativ unterschiedliche Magnetaktoren einzusetzen.

[0007] Ausgehend von dem vorstehend genannten Stand der Technik besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, einen Kraftstoffinjektor mit mehreren Aktoren bereitzustellen, welcher im Hinblick auf die Arbeitspunkteinstellung der Aktoren eine hohe Flexibilität besitzt. Darüber hinaus soll ein Verfahren zur Ansteuerung einer Düsennadel eines Kraftstoffinjektors angegeben werden, das eine Optimierung der Arbeitspunkteinstellung der Aktoren ermöglicht.

[0008] Die Aufgaben werden gelöst durch einen Kraftstoffinjektor mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 10. Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindungen werden in den jeweiligen Unteransprüchen angegeben.

Offenbarung der Erfindung

[0009] Der vorgeschlagene Kraftstoffinjektor zum Einspritzen von Kraftstoff in den Brennraum einer Brennkraftmaschine umfasst eine erste Aktoreinheit und wenigstens eine weitere Aktoreinheit zur Betätigung einer hubbeweglichen Düsennadel, durch deren Hubbewegung wenigstens eine Einspritzöffnung des Kraftstoffinjektors freigebbar oder verschließbar ist. Die Aktoreinheiten sind dabei unabhängig voneinander ansteuerbar und über eine Kopplungseinrichtung an die Düsennadel koppelbar. Erfindungsgemäß umfasst die Kopplungseinrichtung ein hydraulisches Kopplervolumen, das von einer an der Düsennadel ausgebildeten hydraulischen Wirkfläche und wenigstens einer weiteren hydraulischen Wirkfläche begrenzt wird, welche an einem mit einer Aktoreinheit zusammenwirkenden Übertragungselement

ausgebildet ist, so dass über das Flächenverhältnis der hydraulischen Wirkflächen in einer ersten Phase des Öffnungshubes der Düsennadel eine Kraftverstärkung und/oder in einer zweiten Phase des Öffnungshubes der Düsennadel eine Wegverstärkung bewirkbar ist.

[0010] Ein erfindungsgemäßer Kraftstoffinjektor weist somit wenigstens zwei Aktoreinheiten auf, von denen zumindest eine über ein hydraulisches Kopplervolumen an die Düsennadel gekoppelt ist. Zugleich wirkt diese Aktoreinheit mit einem Übertragungselement zusammen, das eine das Kopplervolumen begrenzende hydraulische Wirkfläche aufweist, so dass eine in Abhängigkeit von den jeweils gewählten Flächenverhältnissen der hydraulischen Wirkflächen eine Kraft- und/oder eine Wegverstärkung realisierbar ist. Letzteres ermöglicht eine größere Flexibilität im Hinblick auf die Auswahl eines geeigneten Aktors, so dass sowohl Magnetaktoren als auch Festkörperaktoren einsetzbar sind. Vorzugsweise ist wenigstens ein erster Aktor bzw. eine erste Aktoreinheit über das hydraulische Kopplervolumen an die Düsennadel gekoppelt und die hydraulische Wirkfläche des mit der ersten Aktoreinheit zusammenwirkenden Übertragungselementes derart gewählt, dass eine Kraftverstärkung erzielt wird. Die erste Aktoreinheit wird demnach bevorzugt zu Beginn des Öffnungshubes der Düsennadel aktiviert, um die Düsennadel entgegen der hohen Schließkraft aus ihrem Sitz zu heben.

[0011] Der wesentliche Vorteil der Erfindung besteht demnach darin, dass zum Einen die Aufgaben auf mehrere Aktoren verteilt werden und zum Anderen qualitativ unterschiedliche Aktoren in der Weise kombiniert werden können, dass deren Leistungsvermögen den tatsächlichen Anforderungen entspricht. Dadurch wird verhindert, dass die Aktorleistung in einer Vielzahl von Arbeitspunkten deutlich zu hoch ausgelegt ist, um in einem einzelnen Arbeitspunkt, nämlich beim Nadelöffnen, ausreichend leistungsfähig zu sein. Für jede Phase des Öffnungshubes der Düsennadel können somit die notwendigen Kraft- bzw. Weganforderungen erfüllt werden. Jede Aktoreinheit stellt hierfür jeweils nur einen Teil der benötigten Leistung bereit. Soweit erforderlich kann zudem über die Kopplungseinrichtung eine Kraft- und/oder Wegübertragung realisiert werden.

[0012] Das als Kopplungseinrichtung dienende hydraulische Kopplervolumen ermöglicht zudem die Kompensation thermischer Dehnungen, welche kritische und unerwünschte Auswirkungen auf das Kraftprofil der Aktoren haben können. Die Kompensation thermischer Dehnungen führt wiederum zu einer verbesserten Stabilität des Systems.

[0013] Das vorgeschlagene Injektorkonzept erweist sich somit als sehr leistungsfähig und äußerst flexibel, insbesondere im Hinblick auf die Kombinationsmöglichkeiten unterschiedlicher Aktoren. Ergänzend kann über die vorgeschlagene Kopplungseinrichtung eine Kraft- und/oder Wegverstärkung realisiert werden. Somit kann der erfindungsgemäße Kraftstoffinjektor auch zur direkten Nadelsteuerung eingesetzt werden, so dass ferner

die eingangs genannten Vorteile der direkten Nadelsteuerung zum Tragen kommen. Schließlich ist das angegebene Injektorkonzept einfach und kostengünstig umsetzbar.

[0014] Vorzugsweise umfassen die Aktoreinheiten jeweils wenigstens einen Magnetaktor oder einen Festkörperaktor, beispielsweise einen Piezo-Aktor oder einen magnetostriktiven Aktor, dessen Kraft in Öffnungsrichtung der Düsennadel oder in einer zur Öffnungsrichtung entgegengesetzten Richtung wirksam ist. Wie bereits eingangs erwähnt besitzen Piezoaktoren gegenüber Magnetaktoren den Vorteil, dass sie hohe Kräfte aufbringen können und eine hohe Dynamik besitzen. Insoweit eignen sich Festkörperaktoren insbesondere zur Ausbildung einer ersten Aktoreinheit, die zu Beginn des Öffnungshubes der Düsennadel aktiviert wird, um die auf die Düsennadel wirkende hohe Schließkraft zu überwinden. Allerdings lassen sich durch Einsatz von Piezoaktoren nur schwer die benötigten Hübe darstellen. Als weitere Aktoreinheit wird daher vorzugsweise wenigstens ein Magnetaktor eingesetzt, dessen Aktivierung in einer zweiten Phase des Öffnungshubes der Düsennadel erfolgt, um das vollständige Öffnen der Düsennadel sicherzustellen.

[0015] Ferner ist die Wirkrichtung der Aktoren frei wählbar, das heißt, dass sowohl "ziehende" bzw. in Öffnungsrichtung der Düsennadel wirksame, als auch "drückende" bzw. entgegen der Öffnungsrichtung der Düsennadel wirksame Aktoren einsetzbar sind. Ermöglicht wird dies durch Einsatz eines hydraulischen Kopplervolumens als Kopplungseinrichtung, da über das hydraulische Kopplervolumen die Wirkrichtung der Aktoreinheit auf die Düsennadel umgelenkt werden kann. Insofern weist das vorgeschlagene Injektorkonzept auch eine hohe Flexibilität im Hinblick auf die konkrete Ausgestaltung des Kraftstoffinjektors auf, da die Einbaulage der Aktoren unabhängig von der Längsachse der Düsennadel wählbar ist. Die Injektorgeometrie kann dementsprechend an die jeweiligen Bauraumbedingungen angepasst werden.

[0016] Darüber hinaus kann eine Aktoreinheit einen Aktor oder mehrere, zu einer Baugruppe zusammengesetzte Aktoren umfassen. Die Bezeichnung Aktoreinheit schließt somit einzelne Aktoren als auch Aktorbaugruppen ein.

[0017] Vorzugsweise sind zur Betätigung der Düsennadel wenigstens zwei Aktoreinheiten vorgesehen, die in gleicher Richtung oder in entgegengesetzter Richtung wirksam sind. Das heißt, dass "ziehende" und "drückende" Aktoren kombiniert werden können. Die Wirkrichtung der Aktorkraft wird über das hydraulische Kopplervolumen umgelenkt.

[0018] Die erfindungsgemäß vorgesehene Aufteilung der Aktorleistung auf mehrere Aktoren bzw. Aktoreinheiten schließt Ausführungen mit drei und mehr Aktoren ein. Als besonders vorteilhaft wird jedoch ein Injektorkonzept mit zwei Aktoren bzw. Aktoreinheiten angesehen, um den Aufwand zur Kopplung der Aktoren bzw. Aktorein-

heiten an die Düsennadel gering zu halten.

[0019] Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung sind zwei unabhängig voneinander ansteuerbare Aktoreinheiten über ein hydraulisches Kopplervolumen an die Düsennadel koppelbar, wobei das Kopplervolumen durch eine hydraulische Wirkfläche A_1 , welche an einem mit der ersten Aktoreinheit zusammenwirkenden Übertragungselement ausgebildet ist, und durch eine hydraulische Wirkfläche A_2 , welche an einem mit der zweiten Aktoreinheit zusammenwirkenden Übertragungselement ausgebildet ist, sowie einer an der Düsennadel ausgebildeten hydraulischen Wirkfläche A_N begrenzt wird und wobei die Flächenverhältnisse $A_1/A_N < 1$ und $A_2/A_N > 1$ gewählt sind.

[0020] Aufgrund der gewählten Flächenverhältnisse wird bei Aktivierung der ersten Aktoreinheit eine Kraftverstärkung entsprechend der Gleichung $F_N = F_1 \cdot A_N/A_1$ bewirkt, so dass über die erste Aktoreinheit ein zum Öffnen der Düsennadel ausreichender Kraftstoß bereitgestellt werden kann. Vorteilhafterweise besitzt diese Aktoreinheit zudem eine hohe Dynamik. Vorzugsweise werden daher Flachanker-Magnetkreise eingesetzt. Alternativ können auch Festkörperaktoren, wie Piezoaktoren oder magnetostruktive Aktoren, als erste Aktoren oder erste Aktoreinheiten eingesetzt werden. Bei der Verwendung von Festkörperaktoren ist zu beachten, dass diese in der Regel auf Zug und Druck gegen extern verursachte Dehnung gehemmt sind. Daher gilt es bei der Verwendung von Festkörperaktoren sicherzustellen, dass diese sich weder gegenseitig hemmen, noch Arbeit aneinander verrichten. Dies ist bei Auslegung der Kopplungseinrichtung bzw. der Kopplungseinrichtungen zu berücksichtigen. Da mittels Festkörperaktoren zwar große Kräfte, zugleich jedoch nur geringe Hübe darstellbar sind, ist wenigstens ein weiterer Aktor bzw. eine weitere Aktoreinheit erforderlich, um den vollständigen Hub der Düsennadel zu gewährleisten.

[0021] Die weitere Aktoreinheit wird vorzugsweise erst nach Überwindung der auf die Düsennadel wirkenden hohen Schließkraft durch die erste Aktoreinheit aktiviert. In dieser Phase des Öffnungshubes der Düsennadel sind die Kräfteanforderungen gering. Als zweiter Aktor eignet sich daher beispielsweise ein Tauchankermagnet. Alternativ ist die Hubanforderung bei guter Linearität auch über eine Schwingspulenordnung darstellbar. Zum initialen Öffnen der Düsennadel wäre die Kraft eines Schwingspulenantriebs dagegen nicht ausreichend. Da diese Aufgabe jedoch von der vorgeschalteten ersten Aktoreinheit erledigt wird, ist der Einsatz einer Schwingspulenantriebs als zweite Aktoreinheit akzeptabel. Aufgrund der zudem geringen Anforderungen hinsichtlich der Dynamik der zweiten Aktoreinheit, kann ferner eine Aktoreinheit Einsatz finden, deren Kraft langsam aufgebaut wird, während eine erste hochdynamische Aktoreinheit mit hoher momentaner Kraft den zum Öffnen der Düsennadel erforderlichen Kraftstoß gibt.

[0022] Um einen ausreichenden Hub zum vollständigen Öffnen der Düsennadel zu gewährleisten, ist die

zweite Aktoreinheit über das hydraulische Kopplervolumen vorzugsweise derart an die Düsennadel gekoppelt, dass eine Hub- bzw. Wegverstärkung bewirkt wird. Die hydraulische Wirkfläche A_2 eines mit der zweiten Aktoreinheit zusammenwirkenden Übertragungselementes ist hierzu größer als die an der Düsennadel ausgebildete hydraulische Wirkfläche A_N gewählt. Das Wirkflächenverhältnis beträgt demnach $A_2/A_N > 1$. Die Hub- bzw. Wegübersetzung berechnet sich nach der Gleichung $Hub_N = Hub_{A2} \cdot A_2/A_N$.

[0023] Bei der Auslegung des hydraulischen Kopplervolumens ist sicherzustellen, dass eine gegenseitige Hemmung beider Aktoren bzw. Aktoreinheiten weitgehend ausgeschlossen ist. Zudem sollte sichergestellt sein, dass die Aktoreinheiten ihre Arbeit ausschließlich oder zumindest vornehmlich an der Düsennadel verrichten.

[0024] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist wenigstens ein mit einer Aktoreinheit zusammenwirkendes Übertragungselement bolzen- oder hülsenförmig ausgebildet. Weist der Kraftstoffinjektor beispielsweise zwei Übertragungselemente auf, ist ein Übertragungselement vorzugsweise bolzenförmig ausgebildet und in dem weiteren, vorzugsweise hülsenförmig ausgebildeten Übertragungselement derart aufgenommen, dass eine Verschiebung beider Übertragungselemente gegeneinander möglich ist. Das bolzenförmige Übertragungselement weist dann eine kreisförmige hydraulische Wirkfläche und das hülsenförmig ausgebildete Übertragungselement eine ringförmige hydraulische Wirkfläche auf. Das in dem hülsenförmigen Übertragungselement verschiebbar geführte bolzenförmige Übertragungselement ist weiterhin bevorzugt mit der ersten Aktoreinheit verbunden. Wird der Durchmesser des bolzenförmigen Übertragungselementes kleiner als der Durchmesser der Düsennadel jeweils im Bereich der hydraulischen Wirkflächen gewählt, wird über das hydraulische Kopplervolumen in einfacher Weise eine Kraftverstärkung bewirkt. Demgegenüber ist die ringförmige hydraulische Wirkfläche des hülsenförmigen Übertragungselementes größer als die hydraulische Wirkfläche der Düsennadel zu wählen, sofern alternativ oder ergänzend eine Wegverstärkung realisiert werden soll. Das Übertragungselement kann zudem einstückig mit der jeweiligen Aktoreinheit ausgebildet oder als separates Bauteil mit diesem kraft- und/oder formschlüssig verbunden sein.

[0025] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst die Kopplungseinrichtung ferner Mittel zur mechanischen Kopplung einer Aktoreinheit an die Düsennadel. Die Mittel können derart ausgestaltet sein, dass die Kopplung der Aktoreinheit an die Düsennadel zeitlich bzw. auf einer bestimmte Wegstrecke begrenzt erfolgt. Die Mittel zur mechanischen Kopplung einer Aktoreinheit an die Düsennadel können beispielsweise eine an der Düsennadel oder an einem Stellglied der Aktoreinheit ausgebildete Mitnehmerkante umfassen. Beispielsweise kann die Mitnehmerkante an der Düsennadel ausgebildet sein, mit welcher die Dü-

sennadel während einer ersten Phase ihres Öffnungshubes an einem Stellglied der ersten Aktoreinheit anliegt. Bei Aktivierung der ersten Aktoreinheit wird dann über die Bewegung des Stellgliedes das Öffnen der Düsennadel bewirkt. Die mechanische Kopplung über die Mitnehmerkante wird vorzugsweise wieder gelöst, wenn die Kraftanforderungen sinken und die Aktivierung der zweiten Aktoreinheit erfolgt, deren Aufgabe es ist, den vollständigen Hub der Düsennadel zu gewährleisten. Demnach ist die zweite Aktoreinheit vorzugsweise derart ausulegen, dass sie der gesamten Nadelbewegung zu folgen vermag. Vorteilhafterweise bleibt demnach die zweite Aktoreinheit während der gesamten Nadelbewegung an die Düsennadel gekoppelt. Die Kopplung kann wiederum über das hydraulische Kopplervolumen oder mechanisch erfolgen.

[0026] Des Weiteren wird vorgeschlagen, wenigstens einen Hubanschlag zur Hubbegrenzung eines Stellgliedes einer Aktoreinheit vorzusehen. Der Hubanschlag kann ferner zur Entkopplung einer Aktoreinheit von der Düsennadel eingesetzt werden, so dass die Aktoreinheit bzw. ein Stellglied der Aktoreinheit der Bewegung der Düsennadel in einer bestimmten Phase des Düsennadelhubes nicht zu folgen vermag. Dadurch wird verhindert, dass sich die Aktoren gegenseitig hemmen und/oder Arbeit aneinander verrichten. Diese Gefahr besteht insbesondere dann, wenn wenigstens zwei Aktoreinheiten über das selbe hydraulische Kopplervolumen an die Düsennadel gekoppelt sind.

[0027] Vorteilhafterweise ist zudem wenigstens ein Federelement zur Rückstellung der Düsennadel, der Übertragungselemente und/oder des Stellgliedes einer Aktoreinheit vorgesehen. Das Federelement kann auch dazu eingesetzt werden, ein Übertragungselement oder ein Stellglied einer Aktoreinheit in Anlage mit einem Hubanschlag zu halten bis die Aktivierung der jeweiligen Aktoreinheit erfolgt. Auch diese Maßnahme kann demnach dazu dienen eine Querverbeeinflussung der Aktoreinheiten untereinander weitgehend zu verhindern.

[0028] Zur Lösung der eingangs genannten Aufgabe wird des Weiteren ein Verfahren zur Ansteuerung einer hubbeweglichen Düsennadel eines Kraftstoffinjektors vorgeschlagen, wobei zur Ansteuerung der Düsennadel eine erste Aktoreinheit und wenigstens eine weitere Aktoreinheit eingesetzt werden, die über eine Kopplungseinrichtung an die Düsennadel gekoppelt werden. Erfindungsgemäß wird wenigstens eine Aktoreinheit über ein hydraulisches Kopplervolumen der Kopplungseinrichtung an die Düsennadel gekoppelt, wobei das hydraulische Kopplervolumen von einer an der Düsennadel ausgebildeten hydraulischen Wirkfläche und wenigstens einer weiteren hydraulischen Wirkfläche begrenzt wird, welche an einem mit einer Aktoreinheit zusammenwirkenden Übertragungselement ausgebildet ist, wobei über das Flächenverhältnis der hydraulischen Wirkflächen in einer ersten Phase des Öffnungshubes der Düsennadel eine Kraftverstärkung und/oder in einer zweiten Phase des Öffnungshubes der Düsennadel eine

Wegverstärkung bewirkt werden. Zur Durchführung des Verfahrens eignet sich insbesondere der vorstehend beschriebene erfindungsgemäße Kraftstoffinjektor. Denn das Verfahren sieht den Einsatz wenigstens zweier Aktoreinheiten vor, von denen zumindest eine zur Realisierung einer Kraft- oder Wegübersetzung über ein hydraulisches Kopplervolumen an die Düsennadel gekoppelt ist. Die Aufteilung der Aktoranforderungen auf wenigstens zwei Aktoren ermöglicht eine möglichst genaue Arbeitspunkteinstellung der einzelnen Aktoren, die dem tatsächlichen Leistungsprofil angepasst ist. Zudem können beliebige Aktoren miteinander kombiniert werden um eine Optimierung der Injektorauslegung zu ermöglichen. Der Einsatz eines hydraulischen Kopplervolumens als Kopplungseinrichtung ermöglicht nicht nur eine Kraft- und/oder Wegverstärkung, sondern auch eine Umlenkung der Aktorkraft auf die Düsennadel, so dass sowohl "ziehende" als auch "drückende" Aktoren einsetzbar sind. Die Einbaulage einer Aktoreinheit ist damit unabhängig von der Lage der Düsennadel.

[0029] Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand der beiliegenden Zeichnungen näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 bis 4 jeweils eine schematische Darstellung eines bestimmten Wirkprinzips der Erfindung und

Fig. 5 bis 6 jeweils eine konkrete Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Kraftstoffinjektors.

[0030] Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0031] Den in den Fig. 1 bis 4 dargestellten verschiedenen Wirkprinzipien eines erfindungsgemäßen Kraftstoffinjektors ist gemein, dass zur Realisierung des Injektorkonzeptes jeweils zwei Aktoren bzw. Aktoreinheiten 1, 2 eingesetzt werden, von denen wenigstens eine Aktoreinheit 2 über ein hydraulisches Kopplervolumen 6 als Kopplungseinrichtung 5 an eine Düsennadel 3 gekoppelt ist. Bei den in den Fig. 3 und 4 dargestellten Wirkprinzipien ist darüber hinaus eine Aktoreinheit 1 über eine an der Düsennadel 3 ausgebildete Mitnehmerkante 11 als Mittel 9 zur mechanischen Kopplung an die Düsennadel 3 gekoppelt. Die Pfeile geben jeweils die Wirkrichtung bzw. Bewegungsrichtung der Aktoreinheiten 1, 2 und der Düsennadel 3 wieder.

[0032] Gemäß dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 erfolgt die Kopplung beider Aktoreinheiten 1, 2 an die Düsennadel 3 über ein hydraulisches Kopplervolumen 6. Beide Aktoreinheiten 1, 2 wirken "ziehend", d.h. die Wirkrichtung der Aktoreinheiten 1, 2 entspricht der Öffnungsrichtung der Düsennadel 3 (siehe Pfeile). Zur Realisierung einer Kraft- bzw. Wegverstärkung wirkt jede Aktoreinheit 1, 2 mit einem Übertragungselement 7, 8 zusammen, an welchem eine hydraulische Wirkfläche A_1 , A_2 zur Begrenzung des hydraulischen Kopplervolumens 6 ausgebildet ist. Eine weitere Begrenzung erfährt das hy-

hydraulische Kopplervolumen 6 durch eine hydraulische Wirkfläche AN, welche an der Düsennadel 3 ausgebildet ist. Die Kraft- bzw. Wegverstärkung wird durch die jeweiligen Flächenverhältnisse erzielt. Hierzu ist die hydraulische Wirkfläche A_1 des mit der ersten Aktoreinheit 1 zusammenwirkenden Übertragungselementes 7 kleiner als die Wirkfläche AN der Düsennadel 3 und die hydraulische Wirkfläche A_2 des mit der zweiten Aktoreinheit 2 zusammenwirkenden Übertragungselementes 8 größer als die hydraulische Wirkfläche AN der Düsennadel 3 gewählt. Es ergeben sich somit die folgenden Flächenverhältnisse: $A_1/A_N < 1$ und $A_2/A_N > 1$.

[0033] Die gleichen Flächenverhältnisse finden sich bei dem Ausführungsbeispiel der Figur 2 wieder, so dass hier ebenfalls sowohl eine Kraft- als auch eine Wegverstärkung erzielt werden. Im Unterschied zum Ausführungsbeispiel der Figur 1 werden jedoch zwei Aktoreinheiten 1, 2 eingesetzt, die "drückend", d.h. in einer Richtung wirksam sind, welche der Öffnungsrichtung der Düsennadel 3 entgegengesetzt ist.

[0034] Den Ausführungsbeispielen der Fig. 3 und 4 ist eine Kopplungseinrichtung 5 zu entnehmen, die darüber hinaus Mittel 9 zur mechanischen Kopplung der ersten Aktoreinheit 1 an die Düsennadel 3 umfasst. Die mechanische Kopplung wird vorliegend über eine Mitnehmerkante 11 an der Düsennadel 3 bewirkt. Die Wirkungsweise eines solchen Injektorprinzips ist wie folgt: In Schließstellung der Düsennadel liegt diese über die Mitnehmerkante 11 an einem Stellglied 10 der ersten Aktoreinheit 1 an. Wird zum Öffnen der Düsennadel 1 die erste Aktoreinheit 1 aktiviert, bewegt sich das Stellglied 10 der ersten Aktoreinheit 1 in Richtung des Pfeils, das heißt in Öffnungsrichtung der Düsennadel 3. Hierbei wird die Düsennadel 3 mitgeführt. Mit fortschreitendem Öffnungshub der Düsennadel 3 sorgt die Unterspülung mit unter hohem Druck stehenden Kraftstoff für einen hydraulischen Kraftausgleich, so dass die Kraftanforderungen sinken. Der verbleibende Hub der Düsennadel 3 wird dann durch Aktivierung einer zweiten Aktoreinheit 2 bewirkt, welche über das hydraulische Kopplervolumen 6 an die Düsennadel 3 gekoppelt ist. Vermag die zweite Aktoreinheit 2 den vollständigen Hub der Düsennadel 3 darzustellen, bedarf es keiner Wegverstärkung über das hydraulische Kopplervolumen 6. Dementsprechend können die das hydraulische Kopplervolumen 6 begrenzenden hydraulischen Wirkflächen an der Düsennadel 3 sowie an dem mit der zweiten Aktoreinheit 2 zusammenwirkenden Übertragungselement 8 gleich groß gewählt werden. Durch eine entsprechende Wahl des Flächenverhältnisses ist jedoch auch hier die Realisierung einer Wegübersetzung möglich.

[0035] Die Ausführungsbeispiele der Fig. 3 und 4 unterscheiden sich lediglich im Hinblick auf die Wirkrichtung der beiden Aktoreinheiten 1, 2. In Fig. 3 ist die Wirkrichtung der Aktoreinheiten 1 und 2 entgegengesetzt gewählt, wobei die Wirkrichtung der ersten Aktoreinheit 1 der Öffnungsrichtung der Düsennadel 3 entspricht. Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 4 entspricht dagegen

die Wirkrichtung beider Aktoreinheiten 1, 2 der Öffnungsrichtung der Düsennadel 3.

[0036] Der Fig. 5 ist eine erste konkrete Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Kraftstoffinjektors zu entnehmen, dessen Wirkungsweise auf dem in der Fig. 1 dargestellten Prinzip beruht. Der Kraftstoffinjektor weist hierzu eine erste Aktoreinheit 1 in Form eines magnetostriktiven Aktors und eine zweite Aktoreinheit 2 in Form eines Flachankermagneten auf. Beide Aktoren 1, 2 sind über ein hydraulisches Kopplungsvolumen 6 als Kopplungseinrichtung 5 an eine hubbewegliche Düsennadel 3 gekoppelt, über deren Hubbewegung eine Einspritzöffnung 4 des Kraftstoffinjektors freigebbar oder verschließbar ist. Der unter hohem Druck stehende Kraftstoff wird der Einspritzöffnung 4 über eine Hochdruckbohrung 17 zugeführt. Die beiden Aktoreinheiten 1, 2 sind in axialer Richtung hintereinander angeordnet, wobei die Aktoreinheit 2 näher zur Einspritzöffnung 4 hin liegt. Die als Flachankermagnet ausgebildete zweite Aktoreinheit 2 weist neben dem Anker als Stellglied 10 ein hülsenförmiges Übertragungselement 8 auf, das mit dem Anker fest verbunden ist. Durch das hülsenförmige Übertragungselement 8 ist ein weiteres Übertragungselement 7 geführt, das bolzenförmig ausgebildet und mit einem Stellglied 10 der ersten Aktoreinheit 1 verbunden ist. Eine Betätigung der ersten Aktoreinheit 1 bewirkt somit eine axiale Verschiebung des bolzenförmigen Übertragungselementes 7 gegenüber dem hülsenförmigen Übertragungselement 8, sofern die zweite Aktoreinheit 2 nicht betätigt wird. Über eine Druckfeder 15 wird das hülsenförmige Übertragungselement 8 einschließlich dem Stellglied 10 in Anlage mit einem Hubanschlag 12 gehalten, welcher als Absatz im Injektorkörper 16 ausgebildet ist. Der Hubanschlag 12 verhindert, dass sich beide Aktoreinheiten 1, 2 bei der zu verrichtenden Arbeit gegenseitig hemmen oder die Arbeit aneinander verrichten. Denn wird die erste Aktoreinheit 1 aktiviert, wird das Stellglied 10 des magnetostriktiven Aktors entgegen der Federkraft eines als Tellerfeder ausgebildeten Federelementes 14 in Öffnungsrichtung der Düsennadel 3 verschoben. Dabei wird auch das bolzenförmige Übertragungselement 7 in Öffnungsrichtung der Düsennadel 3 bewegt. Das hydraulische Kopplervolumen 6, das von einer Stirnfläche des bolzenförmigen Übertragungselementes 7 axial begrenzt wird, vergrößert sich, was einen Druckabfall und schließlich das Öffnen der Düsennadel 3 zur Folge hat. Die Stirnfläche des bolzenförmigen Übertragungselementes 7 ist dabei kleiner als die das hydraulische Kopplervolumen 6 begrenzende Stirnfläche der Düsennadel 3 gewählt, so dass sich ein Flächenverhältnis der hydraulischen Wirkflächen $A_1/A_N < 1$ und damit eine Kraftverstärkung während der ersten Phase des Öffnungshubes der Düsennadel 3 ergibt. Die ebenfalls das hydraulische Kopplervolumen begrenzende hydraulische Wirkfläche A_2 , welche am hülsenförmigen Übertragungselement 8 ausgebildet ist, entfaltet während dieser ersten Phase des Öffnungshubes der Düsennadel 3 keine Wirkung, da der Hubanschlag 12 und das Federele-

ment 15 eine Verschiebung des hülsenförmigen Übertragungselementes 8 verhindern. Ist die Düsennadel 3 durch Aktivierung der ersten Aktoreinheit 1 aus ihrem Sitz gehoben, wird die zweite Aktoreinheit 2 aktiviert. Dabei wird das Stellglied 10 bzw. der Magnetanker einschließlich dem hülsenförmigen Übertragungselement 8 entgegen der Druckkraft des Federelementes 15 in Öffnungsrichtung der Düsennadel 3 bewegt. Durch diese Bewegung wird das hydraulische Kopplervolumen 6 weiter vergrößert. Da die hydraulische Wirkfläche A_2 am hülsenförmigen Übertragungselement 8 größer als die hydraulische Wirkfläche A_N der Düsennadel 3 gewählt ist, so dass sich ein Flächenverhältnis $A_2/A_N > 1$ ergibt, erfolgt während einer zweiten Phase des Öffnungshubes der Düsennadel 3 eine Wegverstärkung. Wird während dieser zweiten Phase des Öffnungshubes der Düsennadel 3 die erste Aktoreinheit 1 deaktiviert, erfolgt zugleich eine Rückstellung des bolzenförmigen Übertragungselementes 7 über die Druckkraft des Federelementes 14. Dabei kommt es zu einer geringen Querbeflussung der beiden Aktoreinheiten 1, 2. Da das von dem bolzenförmigen Übertragungselement 7 verdrängte Volumen jedoch deutlich kleiner ausgelegt ist als das Volumen des hülsenförmigen Übertragungselementes 8 ist diese Querbeflussung vernachlässigbar. Um eine Querbeflussung zu verhindern, kann alternativ die erste Aktoreinheit 1 während des gesamten Öffnungshubes der Düsennadel 3 aktiviert bleiben. Wird die Aktivierung beider Aktoreinheiten 1, 2 beendet, wird die Düsennadel 3 über die Druckkraft eines Federelementes 13 in ihren Sitz zurückgestellt.

[0037] Gemäß einer weiteren bevorzugten in der Fig. 6 dargestellten Ausführungsform kann die Kopplungseinrichtung 5 ferner Mittel 9 zur mechanischen Kopplung einer Aktoreinheit 1 an die Düsennadel 3 umfassen. Als Mittel 9 zur mechanischen Kopplung weist vorliegend die Düsennadel 3 eine Mitnehmerkante 11 auf. Die in der Fig. 6 dargestellte Ausführungsform entspricht demnach dem Wirkprinzip der Fig. 4. Wiederum sind zwei Aktoreinheiten 1, 2 vorgesehen die "ziehend" wirken, d.h. in Öffnungsrichtung der Düsennadel 3. Diesmal ist jedoch die erste Aktoreinheit 1 näher zur Einspritzöffnung 4 hin angeordnet, da die Kopplung der ersten Aktoreinheit 1 an die Düsennadel 3 über die Mittel 9, d.h. mechanisch erfolgt. Die zweite Aktoreinheit 2 ist entsprechend der Ausführungsform der Fig. 5 über ein hydraulisches Kopplervolumen 6 an die Düsennadel 3 gekoppelt. Da die zweite Aktoreinheit 2 einen großen Hub verrichten soll, ist die hydraulische Wirkfläche A_2 eines mit der Aktoreinheit 2 zusammenwirkenden Übertragungselementes 7 größer als die hydraulische Wirkfläche A_N der Düsennadel 3 gewählt. Über das Flächenverhältnis $A_2/A_N > 1$ wird demnach eine Wegverstärkung erzielt. Zu Beginn des Öffnungshubes der Düsennadel 3 gilt es jedoch die auf die Düsennadel 3 wirkende hohe Schließkraft zu überwinden. Hierzu wird zunächst die erste Aktoreinheit 1 bestromt, deren Stellelement 10 an der Mitnehmerkante 11 der Düsennadel 3 anliegt. Die Bestromung der ersten

Aktoreinheit 1 bewirkt eine Verschiebung des Stellelementes 10 in Öffnungsrichtung der Düsennadel 3, wobei die Düsennadel 3 über die Mitnehmerkante 11 angehoben wird. Die Düsennadel 3 wird nunmehr von unter hohem Druck stehenden Kraftstoff unterspült, so dass sich ein hydraulischer Kraftausgleich einstellt. Um ein vollständiges Öffnen der Düsennadel 3 zu bewirken, bedarf es nun nicht mehr einer großen Kraft, sondern eines großen Hubes. Daher wird nunmehr die zweite Aktoreinheit 2 aktiviert. Während das bolzenförmige Übertragungselement 7 der Aktoreinheit 2 über das hydraulische Kopplervolumen 6 an der Düsennadel 3 gekoppelt bleibt, löst sich die Düsennadel 3 von dem Stellglied 10 der ersten Aktoreinheit 1. Es tritt somit eine Entkopplung der ersten Aktoreinheit 1 ein. Dadurch wird eine Querbeflussung der beiden Aktoreinheiten 1, 2 verhindert. Um eine Hemmung des bolzenförmigen Übertragungselementes 7 zu verhindern, ist ferner das oberhalb des Übertragungselementes 7 angeordnete hydraulische Volumen direkt an den Hochdruck angebunden. Gleiches gilt für das die Düsennadel 3 umgebende hydraulische Volumen.

[0038] Während die Aktivierung der zweiten Aktoreinheit 2 den vollständigen Öffnungshub der Düsennadel 3 bewirkt, wird das Stellglied 10 der ersten Aktoreinheit 1 nicht über seinen Hubanschlag 12 hinaus bewegt. Wird die Bestromung beider Aktoren 1, 2 beendet, wird die Düsennadel 3 durch die Druckkraft des Federelementes 13 in den Sitz zurückgestellt. Dabei wird auch das Stellelement 10 der ersten Aktoreinheit 1 entgegen der Druckkraft eines Federelementes 14, welches das Stellelement 10 in Anlage mit der Mitnehmerkante 11 hält, in seine Ausgangslage zurückgestellt. Die Rückstellung des bolzenförmigen Übertragungselementes 7 wird durch ein Federelement 15 bewirkt.

[0039] Die beiden in den Fig. 5 und 6 dargestellten konkreten Ausführungsformen stellen lediglich Beispiele eines erfindungsgemäßen Kraftstoffinjektors dar. Die Erfindung umfasst darüber hinaus eine Vielzahl weiterer Kombinationen verschiedener Aktoren, die jeweils hydraulisch oder mechanisch an die Düsennadel gekoppelt sind. Es erfolgt somit eine Aufteilung der Akteurleistung auf mehrere Aktoren, die den Anforderungen entsprechend ausgestaltet bzw. gewählt werden können. Zudem ist wahlweise eine Kraft- und/oder Wegübersetzung bei hydraulischer Kopplung einer Aktoreinheit an die Düsennadel über das jeweils gewählte Flächenverhältnis der hydraulischen Wirkflächen möglich. Eine Kraft- oder Wegverstärkung ist erfindungsgemäß jedoch nicht zwingend notwendig, wenn die Auslegung der Aktoren dies nicht erfordert.

Patentansprüche

1. Kraftstoffinjektor zum Einspritzen von Kraftstoff in den Brennraum einer Brennkraftmaschine mit einer ersten Aktoreinheit (1) und wenigstens einer weiteren Aktoreinheit (2) zur Betätigung einer hubbeweg-

- lichen Düsennadel (3), durch deren Hubbewegung wenigstens eine Einspritzöffnung (4) des Kraftstoffinjektors freigebbar oder verschließbar ist, wobei die Aktoreinheiten (1, 2) unabhängig voneinander ansteuerbar und über eine Kopplungseinrichtung (5) an die Düsennadel (3) koppelbar sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kopplungseinrichtung (5) ein hydraulisches Kopplervolumen (6) umfasst, das von einer an der Düsennadel (3) ausgebildeten hydraulischen Wirkfläche (AN) und wenigstens einer weiteren hydraulischen Wirkfläche (A_1 , A_2) begrenzt wird, welche an einem mit einer Aktoreinheit (1, 2) zusammenwirkenden Übertragungselement (7, 8) ausgebildet ist, so dass über das Flächenverhältnis der hydraulischen Wirkflächen (A_1/A_N und/oder A_2/A_N) in einer ersten Phase des Öffnungshubes der Düsennadel (3) eine Kraftverstärkung und/oder in einer zweiten Phase des Öffnungshubes der Düsennadel (3) eine Wegverstärkung bewirkbar ist.
2. Kraftstoffinjektor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aktoreinheiten (1, 2) jeweils wenigstens einen Magnetaktor oder einen Festkörperaktor umfassen, dessen Kraft in Öffnungsrichtung der Düsennadel (3) oder in einer zur Öffnungsrichtung entgegengesetzten Richtung wirksam ist.
3. Kraftstoffinjektor nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens zwei Aktoreinheiten (1, 2) zur Betätigung der Düsennadel (3) vorgesehen sind, die in gleicher Richtung oder in entgegengesetzter Richtung wirksam sind.
4. Kraftstoffinjektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei unabhängig voneinander ansteuerbare Aktoreinheiten (1, 2) über ein hydraulisches Kopplervolumen (6) an die Düsennadel (3) koppelbar sind, wobei das Kopplervolumen (6) durch eine hydraulische Wirkfläche (A_1), welche an einem mit der ersten Aktoreinheit (1) zusammenwirkenden Übertragungselement (7) ausgebildet ist, und durch eine hydraulische Wirkfläche (A_2), welche an einem mit der zweiten Aktoreinheit (2) zusammenwirkenden Übertragungselement (8) ausgebildet ist, sowie einer an der Düsennadel (3) ausgebildeten hydraulischen Wirkfläche (AN) begrenzt wird und wobei die Flächenverhältnisse $A_1/AN < 1$ und/oder $A_2/AN > 1$ gewählt sind.
5. Kraftstoffinjektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens ein mit einer Aktoreinheit (1, 2) zusammenwirkendes Übertragungselement (7, 8) bolzen- oder hülsenförmig ausgebildet ist.
6. Kraftstoffinjektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kopplungseinrichtung (5) ferner Mittel (9) zur mechanischen Kopplung einer Aktoreinheit (1, 2) an die Düsennadel (3) umfasst.
7. Kraftstoffinjektor nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (9) zur mechanischen Kopplung einer Aktoreinheit (1, 2) an die Düsennadel (3) eine an der Düsennadel (3) oder an einem Stellglied (10) der Aktoreinheit (1, 2) ausgebildete Mitnehmerkante (11) umfasst.
8. Kraftstoffinjektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens ein Hubanschlag (12) zur Hubbegrenzung eines Stellgliedes (10) einer Aktoreinheit (1, 2) vorgesehen ist.
9. Kraftstoffinjektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens ein Federelement (13, 14, 15) zur Rückstellung der Düsennadel (3), der Übertragungselemente (7, 8) und/oder des Stellgliedes (10) einer Aktoreinheit (1, 2) vorgesehen ist.
10. Verfahren zur Ansteuerung einer hubbeweglichen Düsennadel (3) eines Kraftstoffinjektors, durch deren Hubbewegung wenigstens eine Einspritzöffnung (4) des Kraftstoffinjektors freigebbar oder verschließbar ist, wobei zur Ansteuerung der Düsennadel (3) eine erste Aktoreinheit (1) und wenigstens eine weitere Aktoreinheit (2) eingesetzt werden, die über eine Kopplungseinrichtung (5) an die Düsennadel (3) gekoppelt werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eine Aktoreinheit (1, 2) über ein hydraulisches Kopplervolumen (6) der Kopplungseinrichtung (5) an die Düsennadel (3) gekoppelt wird, wobei das hydraulische Kopplervolumen (6) von einer an der Düsennadel (3) ausgebildeten hydraulischen Wirkfläche (AN) und wenigstens einer weiteren hydraulischen Wirkfläche (A_1 , A_2) begrenzt wird, welche an einem mit einer Aktoreinheit (1, 2) zusammenwirkenden Übertragungselement (7, 8) ausgebildet ist, wobei über das Flächenverhältnis der hydraulischen Wirkflächen in einer ersten Phase des Öffnungshubes der Düsennadel (3) eine Kraftverstärkung und/oder in einer zweiten Phase des Öffnungshubes der Düsennadel (3) eine Wegverstärkung bewirkt werden.

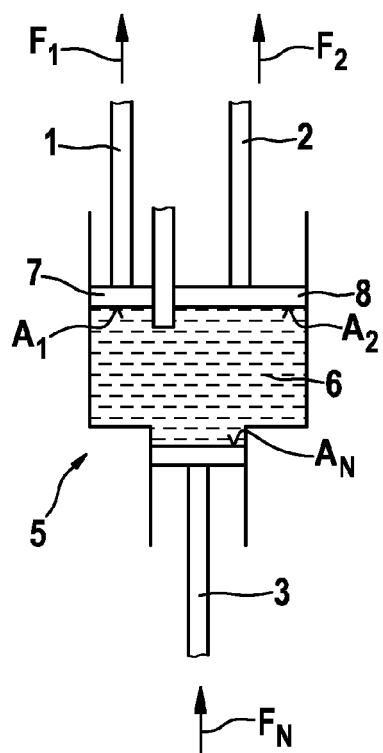


Fig. 1

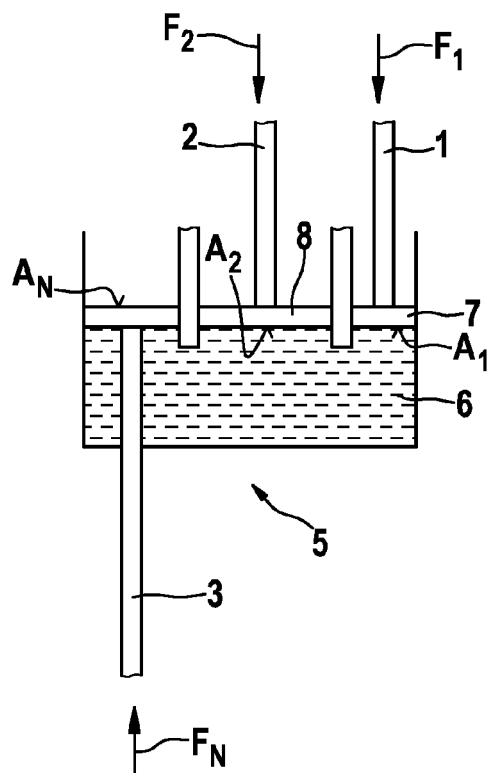


Fig. 2

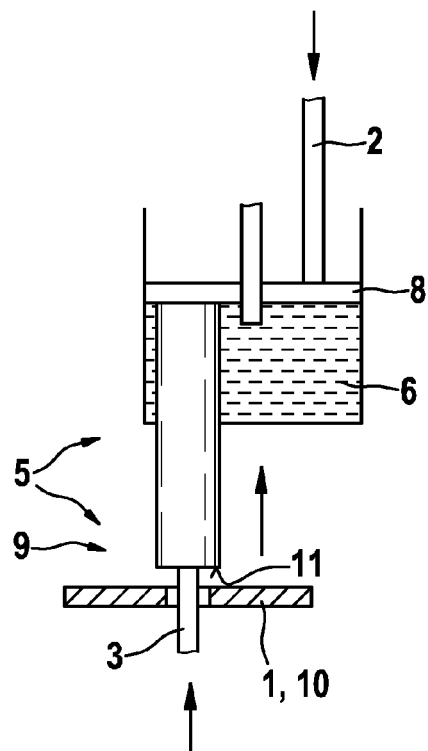


Fig. 3

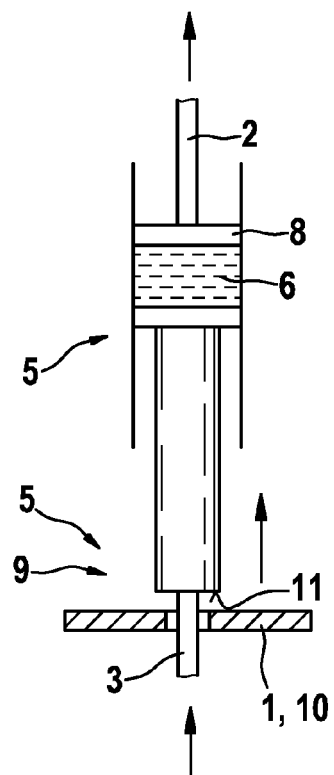


Fig. 4

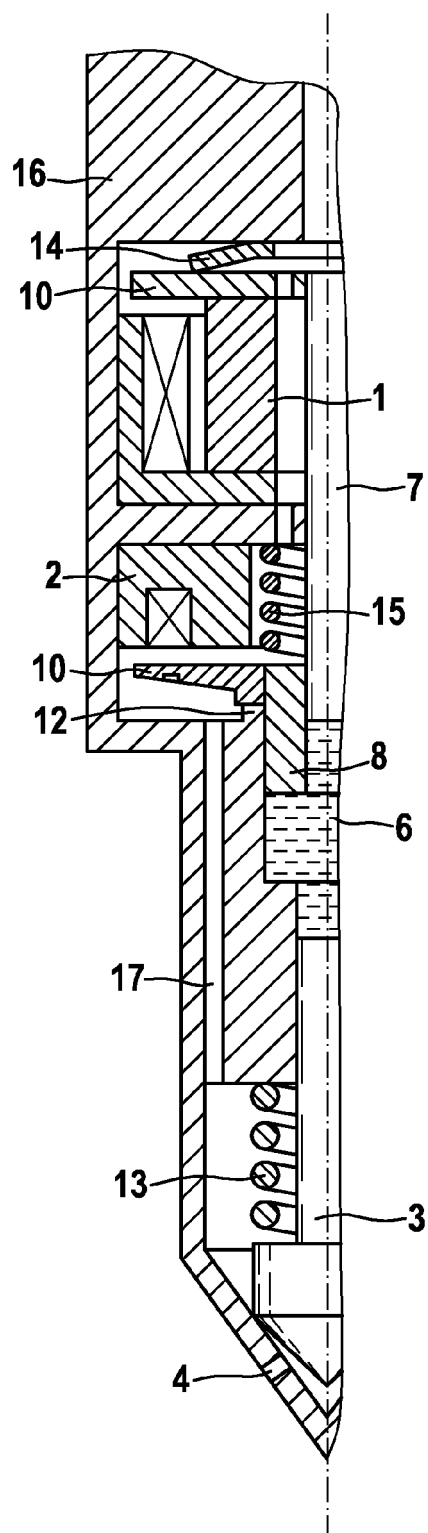


Fig. 5

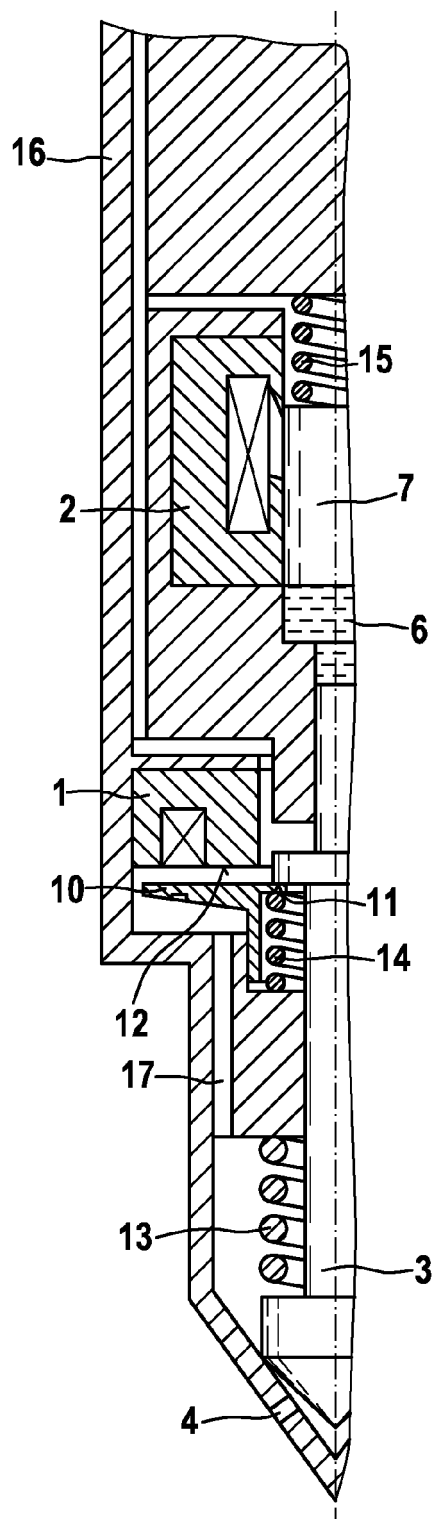


Fig. 6

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2006002953 A1 [0005]
- US 20030116657 A1 [0006]