

(19)



(11)

EP 2 461 012 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
06.06.2012 Patentblatt 2012/23

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

(21) Anmeldenummer: **11186281.9**

(22) Anmeldetag: **24.10.2011**

(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

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

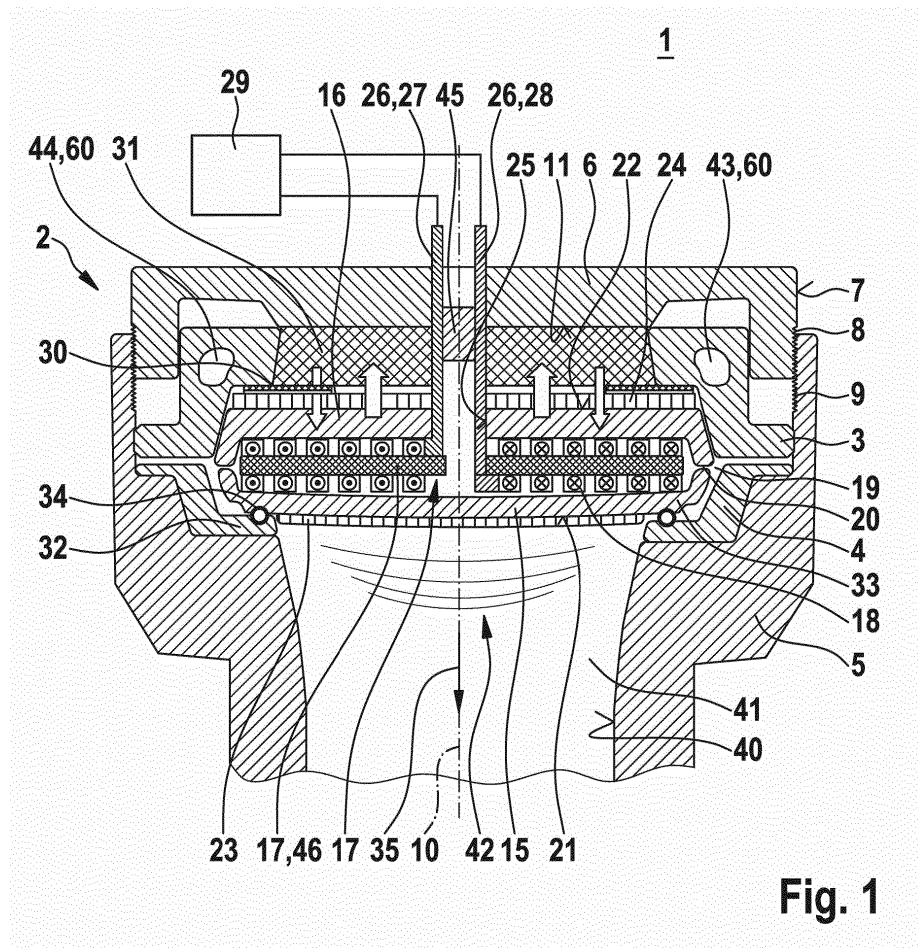
(72) Erfinder:
• **Dukart, Anton**
70839 Gerlingen (DE)
• **Paweletz, Anton**
70736 Fellbach (DE)

(30) Priorität: **03.12.2010 DE 102010062388**

(54) Elektromagnetisches Aktormodul und Einspritzventil

(57) Ein elektromagnetisches Aktormodul (2), das insbesondere für Brennstoffeinspritzventile dient, umfasst eine aktive Membran (15), eine passive Membran (16) und einen Stator (17). Der Stator (17) ist zwischen der aktiven Membran (15) und der passiven Membran

(16) angeordnet. Ferner weist der Stator (17) zumindest eine Wicklung (18) auf. Die passive Membran (16) stützt sich an zumindest einem Gehäuseteil (3, 5) ab. Ferner ist ein Einspritzventil (1) mit solch einem elektromagnetischen Aktormodul (2) angegeben.

**Fig. 1****EP 2 461 012 A1**

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein elektromagnetisches Aktormodul, geeignet insbesondere für Brennstoffeinspritzventile oder Fluidinjektoren, und ein Einspritzventil mit einem elektromagnetischen Aktormodul.

[0002] Aus der US 5,903,204 ist ein elektromagnetischer Aktor bekannt. Solche elektromagnetischen Aktoren, die auf dem Wirbelstromprinzip basieren, können unter anderem in der Metallverformungstechnik, für plastische, insbesondere thermoplastische, und explosionsartige Bearbeitung und Formgebung von kleinen metallischen Konstruktionselementen mit aufwendigen Geometrien angewendet werden. Um bei dem bekannten elektromagnetischen Aktor eine mechanische Spannung zu erreichen, die die plastische Verformung von Metall ermöglicht, werden in speziell konstruierten Erregerspulen des Aktors kurzzeitig sehr hohe Ströme eingepreßt. Die Stromdichten können dabei mehrere 100 Ampere pro mm² erreichen. Die schnell veränderbaren Ströme induzieren wiederum in dem zu verarbeitenden Metall sehr dynamische Wirbelströme. Diese wirken mit dem magnetischen Feld des Erregerstroms zusammen und bilden eine sehr hohe abstoßende Impulskraft, die bei einer entsprechenden Konstruktion der Werkform in der Lage ist, das dort befindliche kleine Werkstück zu verformen. Die zeitlichen Verläufe dieser Erregerströme haben einen impulsartigen Charakter und eine im Vergleich zu ihrer Arbeitsperiode sehr kurze Dauer. Dadurch wird die entstehende Wärme quasi-adiabatisch von der Konstruktion aufgenommen. Danach wird diese in der relativ langen Bestromungspause wieder in das Kühlsystem abgegeben. Das resultierende magnetische Feld der Erregerspule kann hierbei kurzzeitig und in einem sehr begrenzten Raum Werte von mehr als 10 Tesla erreichen.

[0003] Zur Erzeugung von derartigen Stromimpulsen ist es denkbar, dass Schaltungen eingesetzt werden, bei denen durch einen extrem schnellen Entladevorgang eines entsprechend dimensionierten Kondensators oder von Kondensatorbatterien die elektrische Energie in die elektromagnetische Energie des Aktors umgewandelt wird.

[0004] Für die Ausgestaltung von Wirbelstromaktoren sind allerdings hierfür relativ große Impulskondensatoren und Schalter erforderlich. Werden diese Komponenten beispielsweise mit einer Nennspannung von weit über 1000 V eingesetzt, hat dies große Volumina und Kosten zur Folge, die stark von dem angewendeten Spannungsniveau abhängig sind. Ein weiteres Problem ist die Impedanz der Zuleitungen. Diese soll so klein wie möglich sein. Das steht jedoch im Widerspruch zu dem Bauvolumen der Elemente und den notwendigen Isolationsabständen für verwendete Hochspannungskomponenten. Die Konsequenz ist, dass die Komponenten, wie Kondensatoren, Isolatoren, Schalter und das Ladegerät,

entsprechend teuer sind. Außerdem ist es vergleichsweise schwierig, eine preiswerte und sinnvolle und automatische taugliche Integration des gesamten Aktors zu erzielen.

[0005] Zur Erzeugung von Impulsen höherer Spannung ist es denkbar, dass eine mehrstufige Anordnung, wie ein Marx-Generator, eingesetzt wird. Solch ein Marx-Generator besteht aus einer Reihenschaltung von mehreren Entladungs-Stromkreisen mit Kondensatoren. Hierdurch ist ein mehrstufiger Marx-Generator gegeben. Mit einer Ladegleichspannung können alle Stoßkondensatoren parallel und gleichzeitig aufgeladen werden. Sind alle Stoßkondensatoren auf ihren quasi stationären Endwert der Spannung aufgeladen, dann folgt über eine Triggerschaltung die Schließung von mehreren Schaltern, die jeweils einem Stoßkondensator zugeordnet sind. Dadurch ändert sich die Topologie der Schaltung und alle Kondensatoren werden seriell über die Erregerspule des Aktors entladen. Die Spannung wird hierbei vervielfacht und die resultierenden Ströme der Erregerspule des Aktors bedeutend höher und schneller. Die Zündung

[0006] (Umschaltung) der einzelnen Teilkreise kann auch sequenziell oder mit einer Verzögerung erfolgen. Die Problematik der hohen Spannung der Schaltungskomponenten und die erforderliche Spannungsfestigkeit besteht jedoch auch bei dieser Ausgestaltung. Insbesondere sind die Schaltungselemente im Endeffekt miteinander galvanisch verbunden und große elektrische Potentialunterschiede sind vorhanden. Somit kann durch eine auf dem Marx-Generator basierende Schaltung eine Reduktion der Kosten für die Ladegeräte und teilweise die Kondensatoren erzielt werden. Während der Entladung sind jedoch die elektrischen Komponenten wieder seriell verbunden, wodurch sich große Spannungsunterschiede ergeben, was diesbezüglich wieder hohe Kosten und Platzprobleme verursacht.

[0007] Somit ist auf diese Weise die Formung des zeitlichen Verlaufs der Aktorstöße nicht möglich und für den Aufbau entsprechender Kraftregelungen nicht geeignet. Insbesondere kann nur ein Stoßimpuls erzeugt werden. Ferner ist der zeitliche Verlauf des erzeugten Impulses nicht beeinflussbar.

[0008] Offenbarung der Erfindung

[0008] Das erfindungsgemäße elektromagnetische Aktormodul mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und das erfindungsgemäße Einspritzventil mit den Merkmalen des Anspruchs 15 haben den Vorteil, dass eine verbesserte Ausgestaltung ermöglicht ist. Speziell kann eine verstärkte Amplitude bei einer kostengünstigen Ausgestaltung erzielt werden.

[0009] Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen des im Anspruch 1 angegebenen elektromagnetischen Aktormoduls und des im Anspruch 15 angegebenen Einspritzventils möglich.

[0010] In vorteilhafter Weise kann das Einspritzventil als Brennstoffeinspritzventil oder als Fluidinjektor für eine Abgasnachbehandlung dienen. Allerdings eignet sich das Einspritzventil auch für andere Anwendungen.

[0011] Bei der Ausgestaltung als Brennstoffeinspritzventil oder dergleichen wird der notwendige Ausstoß des Fluids, insbesondere des Brennstoffs, aus der Düse durch eine Stoßwelle in der Flüssigkeit erzeugt. Für die Erzeugung der Stoßwelle ist es notwendig, dass in kürzester Zeit sehr große Energiedichten erzeugt werden. Die Stoßwelle kann beispielsweise in einem Kanal verstärkt werden, wodurch ein hoher Druck auf die Düse geleitet wird. Bei diesem Aktorprinzip ist die Frage der physikalischen Grenzen für die impulsartige Kraftentwicklung zentral. Hierbei sind vor allem die magnetische Sättigung der ferromagnetischen Materialien, die Zeitkonstanten in der Energieübertragungskette und die Ableitung der dabei entstehenden Wärme wesentlich. Die Anforderungen an die Dynamik des Stoßwelleninjektors für die Einspritzsysteme von Kraftfahrzeugen sind sehr hoch. Für die Initiierung der Stoßwelle im Brennstoff muss die Energie von einigen Joule im Zeitbereich von wenigen Mikrosekunden umgesetzt werden. Dies ergibt rein rechnerisch eine Impulsleistung im Megawattbereich.

[0012] Bei einem auf dem Wirbelstromprinzip basierenden Aktor ist es möglich, dass sich der magnetische Fluss vollkommen in nicht ferromagnetischer Umgebung ausbreitet. Bei diesem Prinzip ist es vorteilhaft, dass die von der Primärspule beziehungsweise den Primärspulen betrachtete Induktivität sehr klein ist. Dies ermöglicht die Realisierung von sehr schnellen Stromanstiegsflanken und eine relativ kleine Parameterstreuung. Mit diesem Prinzip ist es möglich, die hohen Anforderungen zu erfüllen.

[0013] Ein mögliches Ziel ist die Ausgestaltung eines schnellen, effizienten und kostengünstigen elektromagnetischen Aktormoduls für die direkte Ansteuerung eines Stoßwelleninjektors. Das Aktormodul soll hierbei möglichst klein und robust sein und für die Betriebsbedingungen in der Automobilindustrie geeignet sein. Ein möglicher Schwerpunkt besteht darin, dass in dem Fluid des Injektors eine Stoßwelle generiert wird, wobei die Brennstoffeinspritzung eine möglichst genaue Dosierung ermöglichen soll. Durch eine vorteilhafte Ausgestaltung der Kraftübertragung und die Nutzung des elektromagnetischen Aktormoduls mit einer aktiven Membran und einer passiven Membran kann die Energieumwandlung verbessert werden und die Anregungskraft der Stoßwelle wesentlich vergrößert werden. Solch ein Aktormodul kann zusammen mit dem dazugehörigen Brennstoffeinspritzventil in einem Einspritzsystem eines Kraftfahrzeugs zum Einsatz kommen.

[0014] In vorteilhafter Weise kann der zeitliche Verlauf der Stoßkraft des Aktormoduls geformt werden. Insbesondere kann bei einer Betätigung mehr als ein Stoß erzeugt werden. Außerdem kann die räumliche Druckverteilung, beispielsweise als Funktion eines Mem-

branddurchmessers, beeinflusst werden. Möglich ist es auch, dass die Stromdichte in der Membran und damit auch die lokale Wärmeverteilung in der Membran beeinflusst werden. Außerdem kann die Stoßwelle mit einer verringerten Spannung erzeugt werden. Hierdurch können die Kosten für die Isolation, Kondensatoren, Schaltelemente, insbesondere Thyristoren oder Relais, und die entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen verringert werden. Außerdem können die geforderten Parameter der Stoßwelle, insbesondere Kraftwerte und ihre zeitliche Ableitungen, mit der zur Verfügung stehenden Spannung besser beeinflusst werden.

[0015] Somit kann ein schnelles, effizientes und kostengünstiges elektromagnetisches Aktormodul geschaffen werden. Hierbei ist eine variable Kraftformung möglich, was für die Anforderungen zur Bildung von Stoßwellen in einer Flüssigkeit oder einem Feststoff bedeutend ist. Je nach Ausgestaltung des Aktormoduls und seiner Ansteuerung können hierbei zeitliche Veränderungen bei der Stoßkraftformung erzielt werden. Das Aktormodul kann außerdem klein und robust ausgestaltet sein. Hierdurch eignet sich das Aktormodul insbesondere für Kfz-Anwendungen, insbesondere für Brennstoffeinspritzanlagen und Brennstoffeinspritzventile. Hierbei kann der Aufbau so ausgestaltet werden, dass die Anwendung von Komponenten mit höherer Spannung, insbesondere von mehr als 1000 V, vermieden wird.

[0016] In vorteilhafter Weise kann das Aktormodul modular aufgebaut sein. Hierbei kann der Stator aus mehreren voneinander getrennten Wicklungen (Erregerwicklungen) ausgebildet sein, die in einer bestimmten Reihenfolge auf die Membranen des Aktormoduls wirken. Die Ströme dieser Wicklungen können hierbei in vorteilhafter Weise voneinander unabhängig und individuell eingestellt werden.

[0017] Das elektromagnetische Aktormodul kann zur Erzeugung von Stoßwellen in Flüssigkeiten oder Festkörpern eingesetzt werden. Bei der ersten Anwendung handelt es sich um sogenannte Stoßwelleninjektoren. Der kontrollierte Ausstoß des Fluids aus einer Düse wird hierbei durch eine Stoßwelle in der Flüssigkeit erzeugt. Für die Erzeugung von Stoßwellen ist es erforderlich, in kürzester Zeit sehr hohe Energiedichten zu erzeugen. Die Stoßwelle kann dann in einem Kanal verstärkt und mit hohem Druck auf die Düse geleitet werden.

[0018] Die Erzeugung einer sehr hohen und dynamischen Nutzkraft des Aktormoduls kann zwischen einer Primärspule (Wicklung) und der vorzugsweise in unmittelbarer Nähe angeordneten aktiven Membran erfolgen, wobei die aktive Membran quasi als kurzgeschlossene Sekundärspule wirkt. Die Nutzkraft kommt durch die Interaktion des sehr dynamischen elektromagnetischen Erregungsfelds der Primärspule und der von diesem in der aktiven Membran induzierten Wirbelströme zustande. Diese Impulskraft hat eine räumlich und zeitlich variable Kraftdichte. Die Kraftdichte ergibt sich hierbei zumindest näherungsweise aus der magnetischen Induktion des Feldes und der Stromdichte in der Membran.

Das Erregungsfeld wird durch eine kurzzeitige Einprägung von extrem hohen Strömen in der Primärspule des Aktormoduls generiert. Kurzzeitig bedeutet hierbei vorzugsweise im Mikrosekundenbereich. Extrem hohe Ströme bedeuten hierbei Spitzenwerte von mehreren 100 A pro mm². Die zeitlichen Verläufe der Erregungsströme sind schnell veränderlich und so geformt, dass deren Ableitung ebenfalls sehr hohe Werte erreichen kann. Das dadurch resultierende magnetische Feld der Erregerspule kann somit kurzzeitig Werte über 10 Tesla erreichen. Als Vorteil können somit deutlich kleinere Nennspannungen der Komponenten des Aktormoduls, insbesondere der Kondensatoren, Schalter und der Isolation, ermöglicht werden. Außerdem ist eine flexible zeitliche Formung der Stoßkraft des Aktormoduls möglich. Ferner ist die Stoßkraft gegebenenfalls regelbar. Außerdem kann eine kompakte Bauweise erzielt werden.

[0019] Vorzugsweise ist das System modular aufgebaut. Hierbei können statt einer einzigen Erregerspule auch mehrere Teilsulen, das heißt mehrere Wicklungen, zum Einsatz kommen. Die resultierende Durchflutung des Aktormoduls setzt sich dann aus der Summe der Teildurchflutungen zusammen, die durch die einzelnen Wicklungen verursacht sind. Die Teildurchflutung einer Wicklung ergibt sich hierbei als Produkt mit einem Multiplikator, der gleich dem Strom durch die betrachtete Spule beziehungsweise Wicklung ist, und einem Multiplikand, der gleich der Windungszahl der betrachteten Spule beziehungsweise Wicklung ist.

[0020] Durch die Wirkung dieser Teildurchflutungen im Bereich einer Membran entstehen in dem Volumen der jeweiligen Membran lageabhängig, insbesondere in Abhängigkeit vom Radius, und zeitabhängig Wirbelströme. Diese Wirbelströme erzeugen ihr eigenes Reaktionsfeld. Das resultierende magnetische Feld hat wiederum eine gewisse Flussdichte und ergibt sich aus der Summe der Erregfelder der einzelnen Spulen (Wicklungen) und des erzeugten Reaktionsfeldes. Die vektorelle Kraftdichte in der Membran ergibt sich zumindest näherungsweise als Kreuzprodukt der Flussdichte des resultierenden magnetischen Feldes und dem zeitabhängigen Wirbelstrom in der betrachteten Membran. Die aus der Kraftdichte resultierende Gesamtkraft ergibt sich durch Integration dieser Kraftdichte über die Membranfläche.

[0021] Jeder der Teilwirbelströme in der Membran erzeugt über das von ihm erzeugte magnetische Feld eine abstoßende Kraft auf die induzierende Primärspule. Die resultierende Abstoßkraft zwischen den Erregerspulen im Stator und der Membran entsteht durch die Addition der gegebenenfalls zeitlich versetzten Teilkräfte der Teilsulen.

[0022] Somit kann eine Stoßwelle in einer Flüssigkeit oder in einem Feststoff mit einer gewünschten Verlaufsform erzeugt werden. Der notwendige Verlauf der Beschleunigung der Massen, die die Membranmasse und die zeitabhängige Masse der beschleunigten Flüssigkeit an der Front der zu erzeugenden Stoßwelle umfasst, kann hierdurch entsprechend gestaltet werden. Die Be-

schleunigung der Membran ergibt sich hierbei als Produkt mit einem Multiplikator, der die Summe der gegebenenfalls zeitlich versetzten Teilkräfte der Teilsulen auf die Membran ist, und einem Multiplikand, der ein Bruchteilswert mit einem Dividend, der gleich 1 ist, und einem Divisor ist, der die Summe aus der Membranmasse und der zeitabhängigen Masse der beschleunigten Flüssigkeit an der Front der zu erzeugenden Stoßwelle ist. Die Abhängigkeit der Masse des Mediums von der Zeit beschreibt hierbei die Bildung der Stoßwelle im Medium, das durch die Membran angetrieben wird. Je nach Anwendungsfall und Betriebsbedingungen sowie dem Betriebsmodus kann sich die ergebende Beschleunigung erheblich unterscheiden.

[0023] In herkömmlichen Systemen ist dieser Kraftaufbau starr und von den elektrischen Parametern des Systems abhängig, insbesondere von der Kapazität, der Leitungsimpedanz, der Windungszahl, der Impedanz der Erregungsspule und der Position der Membran. Die Abstimmung des Stromaufbaus und der Membrankraft kann dann nur durch die Aufladespannung des Stoßkondensators erfolgen und eine optimale Bildung der Stoßwelle ist nur durch aufwendige Anpassungen der Designparameter möglich.

[0024] Bei dem System entsprechend einer möglichen Ausgestaltung der Erfindung besteht die Möglichkeit, dass durch die variable Zeitversetzung der Impulsverteilung der Ströme in den Teilsulen diese Kraft geformt wird. Außerdem kann durch die Gestaltung von Designparametern der Teilsulen, insbesondere der Windungszahl, des Windungsquerschnitts und deren Anordnung, eine verbesserte räumliche Verteilung der mechanischen Spannung und der Temperaturverteilung in der Membran erreicht werden.

[0025] Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus einer Segmentierung der Erregerspule in mehrere Teilsulen (Wicklungen), da hierdurch die Absenkung der Betriebsspannung möglich ist. Sind beispielsweise N Teilsulen vorgesehen, dann können der Widerstand und die Induktivität jeder der einzelnen Teilsulen zumindest näherungsweise um den Faktor 1/N kleiner als der einer nicht segmentierten Spule sein.

[0026] Da der momentane Maximalwert im Wesentlichen vom Widerstand der Spule abhängig ist, reicht eine wesentlich kleinere Spannung, um einen vergleichbaren Spitzenwert des Stroms zu erzeugen.

[0027] Andererseits können die Impulsströme in einer segmentierten Entladerschaltung wesentlich kürzer als in einer großen Einzelspule sein. Ausgehend vom gleichen energetischen Inhalt und einer (1/N)-fachen Spannung an den Teilsulen ergeben sich N Teilkondensatoren mit einer Kapazität, die sich als Bruchteilswert mit einem Dividend, der die Gesamtkapazität einer Einzelspule ist, und einem Divisor, der die Quadratwurzel aus N ist, ist. Für die Frequenz der Überschwingung der ersten Halbwelle bedeutet dies die Multiplikation der Frequenz mit einem Faktor, der eine Potenz mit einer Basis, die gleich der Anzahl N der Teilsulen beziehungsweise

Teilkondensatoren ist, und einem Potenzexponenten ist, der 1,5 ist. Dies bedeutet, dass die Ströme der Teilsulen wesentlich steiler verlaufen und ihre Dauer kürzer ist.

[0028] Das Wirkprinzip des elektromagnetischen Aktormoduls kann hierbei die Interaktion zwischen den stromführenden Leitern beziehungsweise Bereichen nutzen. Mit einer elektronischen Schaltung kann ein impulsartiger Strom in die Primärspule beziehungsweise die Primärspulen eingeprägt werden. Durch die sehr steile Anstiegsflanke des Stroms werden in allen umliegenden Leitern Wirbelströme induziert. Die Größe und die Zeitform dieser Ströme ist von der Geometrie der Leiter und ihren Materialzusammensetzungen abhängig. Das Aktormodul ist so ausgestaltet, dass sich die Wirbelströme vor allem in den gut leitfähigen Membranen ausbreiten. Die Dicke und nach Bedarf auch Materialzusammensetzung der beiden Membranen kann unterschiedlich gewählt sein und stark von der Betriebstemperatur abhängen. Vorteilhaft ist hierbei ein Hybridbau aus einer Kupferschicht im Innenbereich und einer Schicht aus amorphem Ferromagnetikum, beispielsweise Metglas, mit sehr schmaler Hysteresenschleife der Magnetisierungskennlinie. Ein derartiger Aufbau kann je nach Höhe der magnetischen Induktion die effektive Größe und Eindringungstiefe der Wirbelströme erhöhen.

[0029] Vorzugsweise findet die Wirbelstromerzeugung mit einem hohen Wirkungsgrad statt. Hierfür ist es vorteilhaft, dass in der Erregerspule gut leitende Werkstoffe, insbesondere Kupfer, eingesetzt werden.

[0030] Beim zeitlichen Ablauf der Ansteuerung des elektromagnetischen Aktormoduls kann das Verhältnis der Betriebsperiode und der aktiven Zeit, das von der Drehzahl des Verbrennungsmotors abhängig ist, beispielsweise größer als 2000 sein. Hierbei ergibt sich eine kurze aktive Zeit im Millisekundenbereich, in dem sehr hohe Stromdichten auftreten. Die Erwärmung der elektrischen Leiter erfolgt somit sehr schnell, fast adiabatisch. Nach der kurzen Bestromung folgt eine relativ lange Phase der Wärmeabgabe von den elektrischen Leitern in das Kühlsystem. Folglich liegen die physikalischen Grenzen für die Krafterzeugung primär nicht in der Wärmeentwicklung, sondern in hohen mechanischen Kräften innerhalb der Wicklung. Diese Kräfte müssen ausreichend aufgenommen und abgestützt werden. Hierfür kann der Stator in vorteilhafter Weise durch ein geöffnetes Titaniumband ausgestaltet sein. Die Konstruktionsteile des Aktormoduls, insbesondere des Gehäuses, sind hierbei, soweit möglich aus nicht ferromagnetischen Materialien ausgeführt, wobei diese nach Möglichkeit eine sehr gute thermische Leitfähigkeit aufweisen.

[0031] Die elektromechanische Konstruktion des Aktormoduls ist so ausgelegt, dass nach einer impulsartigen Bestromung zuerst die leichtere, aktive Membran reagiert, sich verformt und die erste steile Spitze der Stoßwellenfront in dem Fluid oder dem Festkörper erzeugt. Die konstruktive Auslegung kann hierbei insbesondere über die Stärke der Membranen und die Steifigkeit von Federelementen oder dergleichen erfolgen. Die

aktive Membran reagiert zuerst, da diese vorzugsweise unmittelbar neben der Wicklung angeordnet ist und somit direkt von der Wicklung abgestoßen wird. Die auf der anderen Seite liegende passive Membran reagiert mit leichter Verzögerung. Hierfür kann die passive Membran zusätzlich dicker und schwerer ausgestaltet sein, so dass die mechanischen und elektromechanischen Zeitkonstanten größer sind als bei der aktiven Membran. Die Zeitkonstanten sind durch die Geometrie und die Materialauswahl so angepasst, dass der Kraftaufbau der elektromagnetischen Reaktion in der passiven Membran mit einer leichten Verzögerung stattfindet.

[0032] Durch die Reaktionskraft des Gehäuses, das sich aus mehreren Gehäuseteilen zusammensetzen kann, wird eine zweite Welle der Stoßkraft erzeugt. Diese zweite Welle der Stoßkraft verstärkt die erste Welle der Stoßkraft. Durch die Auslegung der Zeitkonstanten in den beiden Teilsystemen der Membranen kann die resultierende Stoßkraft, die sich aus der Summe der beiden Wellen der Stoßkraft ergibt, an der Schnittstelle zwischen der aktiven Membran und dem Fluid beziehungsweise dem Festkörper verstärkt werden. Somit ergibt sich gewissermaßen eine Überlagerung, wodurch eine Gesamtstoßwelle ausgestaltet wird.

[0033] Vorteilhaft ist es, dass eine Außenseite der passiven Membran zumindest im Wesentlichen mit einer amorphen Schicht beschichtet ist. Durch die amorphe Schicht ist eine hohe relative Permeabilität gegeben. Beispielsweise kann eine amorphe Metallschicht mit einer relativen Permeabilität gewählt sein, die größer als 10000 ist. Die Membran selbst kann hierbei als Kupfermembran ausgestaltet sein. Hierdurch wird der Fluss auch bei hohen Frequenzen ohne wesentliche Verluste gebündelt. Die passive Membran ist vorzugsweise ideal steif ausgestaltet. Entsprechend ist es vorteilhaft, dass auch die aktive Membran zumindest im Wesentlichen mit einer amorphen Schicht beschichtet ist. Speziell kann auch in diesem Fall eine amorphe Metallbeschichtung mit einer relativen Permeabilität von mehr als 10000 gewählt sein. Somit wird der magnetische Fluss teilweise verstärkt und auch bei hohen Frequenzen ohne wesentliche Verluste durch die aktive Membran gebündelt.

[0034] Vorteilhaft ist es, dass die passive Membran zumindest eine Durchgangsöffnung aufweist, die zumindest näherungsweise in einer Mitte einer Außenseite der passiven Membran angeordnet ist, und dass durch die Durchgangsöffnung eine elektrische Zuleitung für die Wicklung zu dem Stator geführt ist. Sofern mehrere Wicklungen vorgesehen sind, ist die elektrische Zuleitung dann zu den mehreren Wicklungen geführt. Somit kann eine Primärspule aus einer Einzelspule, d.h. einer einzigen Wicklung, oder aus mehreren Teilsulen, d.h. mehreren Wicklungen, gebildet sein. Hierbei ist es ferner vorteilhaft, dass die elektrische Zuleitung als flexible und bewegbare elektrische Zuleitung ausgebildet ist. Bei einer starren elektrischen Zuleitung besteht das Problem, dass diese gegebenenfalls bricht. Durch die flexible und bewegbare Ausgestaltung kann die Funktionsweise über

die Lebensdauer des Aktormoduls gewährleistet werden.

[0035] Außerdem ist es vorteilhaft, dass die passive Membran über ein nicht lineares Federelement an dem Gehäuseteil abgestützt ist. Hierbei ist es ferner vorteilhaft, dass ein Stempel vorgesehen ist, der über eine Schraubverbindung mit einem Gehäuseteil verbunden ist. Speziell kann die Schraubverbindung hierbei über ein Feingewinde ausgestaltet sein. Hierbei ist es ferner vorteilhaft, dass ein Keramikteil vorgesehen ist, das zwischen einer der passiven Membran zugewandten Seite des Stempels und der passiven Membran angeordnet ist, dass die passive Membran über das nicht lineare Federelement an dem Keramikteil abgestützt ist und dass durch die Schraubverbindung eine Vorspannung des nicht linearen Federelements einstellbar ist. Somit kann über die Vorspannung die Federkonstante des Federelements im Ausgangszustand eingestellt werden. Hierdurch ist eine präzise Einstellung der gewünschten Federkonstante möglich. Insbesondere ist gegebenenfalls auch eine Nachjustierung möglich. Der Stempel kann somit zum Einstellen der primären Steifigkeit der passiven Membran in Bezug auf das Gehäuseteil dienen. Die Federkonstante ist dann in nullter Näherung auf den gewünschten Wert eingestellt. Durch das Keramikteil kann der gewünschte Druck erzeugt werden.

[0036] Vorteilhaft ist es auch, dass an der aktiven Membran in einem Randbereich der aktiven Membran eine Federaufnahme ausgestaltet ist, die ein ringförmiges Federelement aufnimmt und dass die aktive Membran über das ringförmige Federelement zumindest an einem Gehäuseteil abgestützt ist.

[0037] Somit können die beiden Membran in vorteilhafter Weise zwischen einem oder mehreren Gehäuseteilen eingespannt sein. Hierbei ist es ferner vorteilhaft, dass die aktive Membran gegen die passive Membran mit einer Vorspannung beaufschlagt ist und dass die aktive Membran über den Stator an die passive Membran gepresst ist. Hierdurch ist eine Pressung der passiven Membran, des Stators und der aktiven Membran in dieser Reihenfolge gegeben. Zwischen den beiden Membran kann hierbei seitlich ein Spalt ausgestaltet sein, damit die beiden Membranen nicht aneinander anliegen, sondern über den Stator zueinander gespannt sind.

[0038] Vorteilhaft ist es auch, dass die passive Membran eine näherungsweise linsenförmige Ausnehmung aufweist, dass eine Querschnittsfläche der linsenförmigen Ausnehmung senkrecht zu einer Betätigungsrichtung der aktiven Membran zumindest näherungsweise eine Querschnittsfläche der Wicklung des Stators umfasst und dass ein Kühlsystem vorgesehen ist, das eine Kühlflüssigkeit durch die linsenförmige Ausnehmung der passiven Membran führt. Durch die linsenförmige Ausnehmung der passiven Membran kann die Steifigkeit der passiven Membran in der Betätigungsrichtung verbessert werden. Außerdem ermöglicht die linsenförmige Ausnehmung eine verbesserte Kühlung der passiven Membran. Über die Kühlung der passiven Membran er-

folgt dann auch indirekt eine Kühlung der übrigen Komponenten, insbesondere der Wicklungen des Stators.

[0039] Vorteilhaft ist es auch, dass zumindest in einem Gehäuseteil zumindest ein Kühlkanal ausgestaltet ist. Hierdurch kann die Kühlung des Aktormoduls weiter verbessert werden.

[0040] In vorteilhafter Weise sind mehrere Wicklungen vorgesehen, die einzeln ansteuerbar sind, wobei eine Steuerung und mehrere den Wicklungen zugeordnete Stoßkapazitäten vorgesehen sind und wobei die Steuerung ausgestaltet ist, zum Erzeugen von Impulsströmen durch die Wicklungen die Stoßkapazitäten zu vorgegebenen Zeiten zu entladen. Hierbei sind die Stoßkapazitäten vorzugsweise so ausgestaltet, dass die erzeugten Impulsströme steile Anstiegsflanken aufweisen. Hierdurch kann anstelle einer einzigen Spule (Wicklung) eine Aufteilung in mehrere Teilsulen (Wicklungen) erfolgen. Hierdurch kann die Ansteuerung des Aktormoduls verbessert werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0041] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der nachfolgenden Beschreibung anhand der beigefügten Zeichnungen, in denen sich entsprechende Elemente mit übereinstimmenden Bezugszeichen versehen sind, näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 ein Brennstoffeinspritzventil mit einem elektromagnetischen Aktormodul in einer auszugsweisen, schematischen Schnittdarstellung entsprechend einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 2 ein Brennstoffeinspritzventil mit einem elektromagnetischen Aktormodul entsprechend einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung in einer auszugsweisen, schematischen Schnittdarstellung;

Fig. 3 ein Signalverlaufdiagramm in einer schematischen Darstellung zur Erläuterung der Funktionsweise der Erfindung;

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines elektromagnetischen Aktormoduls entsprechend einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung und

Fig. 5 ein Signalverlaufdiagramm zur Erläuterung der Funktionsweise des elektromagnetischen Aktormoduls entsprechend dem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Ausführungsformen der Erfindung

[0042] Fig. 1 zeigt ein als Brennstoffeinspritzventil 1 ausgebildetes Einspritzventil 1 mit einem elektromagnetischen Aktormodul 2 in einer auszugsweisen, schematischen Schnittdarstellung entsprechend einem ersten

Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0043] Das Brennstoffeinspritzventil 1 eignet sich besonders für eine Brennstoffeinspritzanlage eines Kraftfahrzeugs. Das elektromagnetische Aktormodul 2 kommt bevorzugt bei solch einem Brennstoffeinspritzventil 1 zum Einsatz. Eine weiterer bevorzugter Einsatz des Einspritzventils 1 beziehungsweise des Aktormoduls 2 besteht bei Systemen zur Abgasnachbehandlung. Das Einspritzventil 1 eignet sich für eine Fluiderzeugung, insbesondere bei einer Abgasnachbehandlungen bei Fahrzeugen, z. B. für eine Denoxierung. Das erfindungsgemäße Brennstoffeinspritzventil 1 und das erfindungsgemäße elektromagnetische Aktormodul 2 eignen sich jedoch auch für andere Anwendungsfälle.

[0044] Das elektromagnetische Aktormodul 2 weist Gehäuseteil 3, 4 auf. Ferner weist das Brennstoffeinspritzventil 1 einen Ventilkörper 5 auf. Der Ventilkörper 5 kann hierbei als weiteres Gehäuseteil 5 des elektromagnetischen Aktormoduls 2 dienen. Hierdurch kann das elektromagnetische Aktormodul 2 kompakt ausgestaltet sein.

[0045] Das elektromagnetische Aktormodul 2 weist einen Stempel 6 auf. Der Stempel 6 weist an seiner Außenseite 7 ein Feingewinde 8 auf, mit dem der Stempel 6 in ein entsprechendes Feingewinde 9 des Ventilkörpers 5 eingeschraubt ist. Der Stempel 6, das Gehäuseteil 3 und das Gehäuseteil 4 sind bezüglich einer Längsachse 10 des Aktormoduls 2 ausgerichtet.

[0046] Das elektromagnetische Aktormodul 2 weist eine aktive Membran 15, eine passive Membran 16 und einen Stator 17 mit einer Wicklung 18 auf. Zwischen der aktiven Membran 15 und der passiven Membran 16 ist in einem Randbereich 19 ein Spalt 20 vorgesehen. Hierdurch berühren sich die beiden Membranen 15, 16 nicht direkt. Der Stator 17 mit der Wicklung 18 ist zwischen den Membranen 15, 16 angeordnet. Hierbei besteht eine Pressung zwischen der passiven Membran 16 und dem Stator 17 und der aktiven Membran 15. Somit besteht eine mechanische Wirkverbindung zwischen den Membranen 15, 16 über den Stator 17.

[0047] Die aktive Membran 15 weist eine Außenseite 21 auf. Ferner weist die passive Membran 16 eine Außenseite 22 auf. Die Außenseite 21 der aktiven Membran 15 ist von der Außenseite 22 der passiven Membran 16 abgewandt. An der Außenseite 21 ist die aktive Membran 15 zumindest im Wesentlichen mit einer amorphen Schicht 23 beschichtet. Ferner ist die passive Membran 16 an ihrer Außenseite 22 im Wesentlichen mit einer amorphen Schicht 24 beschichtet. Die amorphen Schichten 23, 24 sind beispielsweise als amorphe Metallschichten mit einer relativen Permeabilität von mehr als 10000 ausgestaltet. Der von der Wicklung 18 erzeugbare magnetische Fluss kann dadurch auch bei hohen Frequenzen ohne wesentliche Verluste gebündelt werden. Die Membranen 15, 16 können beispielsweise aus Kupfer ausgebildet sein.

[0048] Die passive Membran 16 weist in der Mitte der Außenseite 22 eine Durchgangsöffnung 25 auf. Durch

die Durchgangsöffnung 25 ist eine elektrische Zuleitung 26 mit Leitern 27, 28 an den Stator 17 geführt. Über die elektrische Zuleitung 26 ist die Wicklung 18 mit einer Steuerung 29 verbunden. Die Leiter 27, 28 der elektrischen Zuleitung 26 sind hierbei flexibel und bewegbar ausgebildet. Somit ist eine gewisse Bewegung des Stators 17 relativ zu dem Gehäuseteil 5 ermöglicht, ohne dass die elektrische Zuleitung 26 beschädigt wird.

[0049] Das elektromagnetische Aktormodul 2 weist ein kreisringförmiges Federelement 30 auf. Das Federelement 30 ist hierbei vorzugsweise als nicht lineares Federelement 30 ausgestaltet. Die passive Membran 16 stützt sich über das Federelement 30 an den Gehäuseteilen 3, 5 ab. Insbesondere stützt sich die passive Membran 16 über das nicht lineare Federelement 30 an einem scheibenförmigen Keramikteil 31 ab, das über den Stempel 6 gehalten ist. Hierbei beaufschlagt der Stempel 6 über das Keramikteil 31 das nicht lineare Federelement 30 mit einer Vorspannung. Das Keramikteil 31 ist zwischen einer der passiven Membran 16 zugewandten Seite 11 des Stempels 6 und der passiven Membran 16 angeordnet. Das Federelement 30 ist dadurch vorgespannt, wobei entsprechend der Vorspannkraft eine gewisse Federkonstante eingestellt ist. Somit kann über den Stempel 6 die Federkonstante des nicht linearen Federelements 30 in nullter Näherung eingestellt werden.

[0050] Außerdem ist ein weiteres Federelement 32 vorgesehen. Das weitere Federelement 32 ist hierbei zwischen dem Gehäuseteil 4 und der aktiven Membran 15 angeordnet. Die aktive Membran 15 weist in einem Randbereich 33 der Außenseite 21 eine Aufnahme 34 auf, die das ringförmige Federelement 32 aufnimmt. Das ringförmige Federelement 32 kann hierbei im Ausgangszustand einen kreisförmigen Querschnitt aufweisen. Somit sind die aktive Membran 15, der Stator 17 und die passive Membran 16 zwischen dem Gehäuseteil 4 und dem Gehäuseteil 3 zuverlässig positioniert. Hierbei ist eine gewisse Beweglichkeit ermöglicht.

[0051] Wenn das System aus den Membranen 15, 16 und dem Stator 17 frei angeordnet wäre, dann würde bei einer Bestromung der Wicklung 18 eine abstoßende Kraft sowohl auf die aktive Membran 15 als auch auf die passive Membran 16 wirken. Hierbei würde die aktive Membran 15 in einer Betätigungsrichtung 35 der aktiven Membran betätigt werden, während die passive Membran 16 entgegen der Betätigungsrichtung 35 betätigt würde. Da die passive Membran 16 allerdings an den Gehäuseteilen 3, 5 abgestützt ist, kommt es zu einer verstärkten Betätigung der aktiven Membran 15 in der Betätigungsrichtung 35. Somit kommt es gerade durch das Vorhandensein der passiven Membran 16 zu einer verstärkten Betätigung der aktiven Membran 15.

[0052] Bei der Bestromung der Wicklung 18 wird eine magnetische Kraft von der Wicklung 18 auf die aktive Membran 15 ausgeübt. Außerdem wird eine magnetische Kraft von der Wicklung 18 auf die passive Membran 16 ausgeübt. Im zeitlichen Ablauf kommt es daher zu einem ersten Impuls, der auf der direkten Betätigung der

aktiven Membran 15 auf Grund der Bestromung der Wicklung 18 verursacht ist. Ferner kommt es nachfolgend zu einem zweiten Impuls, der auf der magnetischen Kraft beruht, die die Wicklung 18 auf die passive Membran 16 ausübt. Hierbei kommt es zu einem mechanischen Stoß, der durch die weiteren Komponenten, insbesondere das Keramikteil 31, den Stempel 6 und das Gehäuseteil 5 reflektiert wird. Dieser zusätzliche, reflektierte Stoß wirkt dann über den Stator 17 zusätzlich auf die aktive Membran 15. Der zweite Impuls verstärkt somit den ersten Impuls. Somit addieren sich im Wesentlichen zwei Kraftimpulse. Je nach Ausgestaltung des elektromagnetischen Aktormoduls 2 können diese beiden Kraftimpulse mehr oder weniger aufgelöst sein. Insbesondere ist es möglich, dass die beiden Kraftimpulse soweit überlagert sind, dass diese nicht mehr aufgelöst sind und sich in der Summe lediglich ein verstärkter Kraftimpuls ergibt. Durch die Ausgestaltung des elektromagnetischen Aktormoduls 2 ist es allerdings auch möglich, dass durch einen gewissen zeitlichen Abstand zwischen den beiden Kraftimpulsen eine Auflösung erfolgt, wodurch die beiden Kraftimpulse zumindest teilweise getrennt wahrnehmbar sind.

[0053] Das Brennstoffeinspritzventil 1 weist einen Brennstoffkanal 40 auf. Im Betrieb des Brennstoffeinspritzventils 1 ist der Brennstoffkanal 40 mit Brennstoff 41 gefüllt. Durch die Auslenkung der aktiven Membran 15 des elektromagnetischen Aktormoduls 2 werden Stoßwellen 42 in dem Brennstoff 41 erzeugt. Je nach Auflösung der beiden Kraftimpulse kommt es dadurch zu einer entsprechenden Ausgestaltung der Stoßwellen 42 in dem Brennstoff 41. Die Stoßwellen 42 laufen durch den Brennstoffkanal 40, wobei entsprechend der Ausgestaltung des Brennstoffkanals 40 eine Druckverstärkung möglich ist. Hierdurch kann auf geeignete Weise eine Anregungskraft zum Einspritzen von Brennstoff in eine Brennkammer einer Brennkraftmaschine oder dergleichen erzeugt werden.

[0054] Beispielsweise kann das elektromagnetische Aktormodul 2 so ausgestaltet sein, dass nach einer impulsartigen Bestromung der Wicklung 18 zunächst ein Kraftimpuls zur Auslenkung der aktiven Membran 15 erzeugt wird. Die passive Membran 16 kann dicker als die aktive Membran 15 ausgestaltet sein, so dass diese schwerer ist und somit die mechanischen und elektromechanischen Zeitkonstanten größer sind. Hierdurch reagiert die passive Membran 16 gegenüber der aktiven Membran 15 mit leichter Verzögerung. Durch die Reaktionskraft des Gehäuses wird dann der Kraftimpuls zurückgeführt und auf die aktive Membran 15 geführt. Somit kommt es zu einer zweiten Auslenkung der aktiven Membran 15, die die erste Auslenkung auch verstärken kann. Durch die Auslegung der Zeitkonstanten kann die resultierende Stoßkraft und somit die erzeugte Form der Stoßwelle 42 gestaltet werden.

[0055] Um die im Betrieb erzeugte thermische Energie abzuführen, weist das Gehäuseteil 3 in diesem Ausführungsbeispiel Kühlkanäle 43, 44 auf. Durch die Kühlka-

näle 43, 44 wird ein Kühlmittel geführt. In diesem Ausführungsbeispiel ist die Durchgangsöffnung 25 über ein Dichtelement 45 abgedichtet.

[0056] Um die hohen mechanischen Kräfte in vorteilhafter Weise auf die aktive Membran 15 zu übertragen, weist der Stator 17 ein geöffnetes Titaniumband 46 auf. An dem Titaniumband 46 ist die Wicklung 18 angeordnet. Hierdurch ist die Wicklung 18 steif aufgehängt.

[0057] Somit dient die passive Membran 16 als Reaktionsmembran 16. Die zusätzliche Stoßenergie, die in der passiven Membran 16 entsteht, überträgt sich somit über den Stator 17, insbesondere die Wicklung 18 des Stators 17, auf die aktive Membran 15 und verstärkt die Stoßwelle. Durch die Auslegung der Steifigkeit der Verbindung beziehungsweise Abstützung der passiven Membran 16 in Bezug auf das Gehäuse, insbesondere die Gehäuseteile 3, 5, kann der zeitliche Verlauf der mechanischen Spannung in der aktiven Membran 15 und damit auch die Form der Stoßwelle des elektromagnetischen Aktormoduls 2 verstärkt und geformt werden.

[0058] Die Steuerung 29 kann eine leistungselektronische Baugruppe aufweisen. Hierbei kann beispielsweise durch schnelle Entladung von Impulskondensatoren eine Impulsspannung erzeugt werden. Die Zuleitungen, insbesondere die elektrische Zuleitung 26, und die Wicklung 18 weisen Induktivitäten auf. Durch die Zusammenwirkung der Induktivitäten und des Impulskondensators wird ein Statorstrom in der Wicklung 18 impulsartig aufgebaut. Im magnetischen System der Statorspule (Wicklung) 18 und der beiden Membranen 15, 16 entsteht ein magnetisches Feld, das durch verkettete magnetische Flüsse beschrieben werden kann. Die Kopplung der magnetischen Flüsse ist hierbei vergleichbar wie bei einem Dreiwicklungs-Transformator. Die verketteten Flüsse erzeugen mit entsprechender Verzögerung Wirbelströme in den beiden Membranen 15, 16.

[0059] Die Größe, räumliche und zeitliche Verteilung dieser Wirbelströme kann durch die Geometrie, insbesondere Dicke, und das Material der Membranen 15, 16 so gestaltet werden, dass ihre Zusammenwirkung mit dem Statorstrom die gewünschte, insbesondere maximale, Wirkung der Stoßwellenkraft, generiert. Die Wirbelströme beeinflussen hierbei über ihre Zurückwirkung auch den Statorstrom, das heißt den Strom in der Wicklung 18. Durch die Zusammenwirkung des Statorstroms und der Wirbelströme entsteht eine Kraft beziehungsweise ein Kraftimpuls, der direkt über die aktive Membran 15 an die Front der Stoßwelle 42 in dem Brennstoff 41 übertragen wird. Die zweite Kraft beziehungsweise der zweite Kraftimpuls wird als zweite, verzögerte Welle dem ersten Kraftimpuls aufaddiert. Somit kann der erste Kraftimpuls verstärkt werden. Ein Teil dieses Kraftimpulses wird direkt über den Stator 17 auf die aktive Membran 15 übertragen. Ein weiterer Teil kommt als verzögerte Reaktion über das Federelement 30, das zwischen der passiven Membran 16 und der mechanischen Abstützung (Gehäuse) angeordnet ist, und wiederum über den Stator 17 auf die aktive Membran 15 und an der Front

der Stoßwelle in den Brennstoff 41. Die Summe aller Kräfte, die auf die aktive Membran 15 wirken, ergibt die resultierende, verteilte mechanische Spannung in der aktiven Membran 15. Hierbei besteht eine zeitliche Abhängigkeit. Durch eine geeignete Ausgestaltung des elektromagnetischen Aktormoduls 2 und vor allem der aktiven Membran 15 kann die Form der Stoßwelle 42 fokussiert werden.

[0060] Fig. 2 zeigt ein Brennstoffeinspritzventil 1 mit einem elektromagnetischen Aktormodul 2 in einer auszugsweisen, schematischen Schnittdarstellung entsprechend einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung. In diesem Ausführungsbeispiel weist die passive Membran 16 eine linsenförmige Ausnehmung 50 auf. Eine Querschnittsfläche 51 der linsenförmigen Ausnehmung 50 senkrecht zu der Betätigungsrichtung 35 umfasst hierbei zumindest näherungsweise eine Querschnittsfläche 52 der Wicklung 18. Die Querschnittsflächen 51, 52 sind senkrecht zu der Betätigungsrichtung 35 und somit senkrecht zu der Längsachse 10 orientiert. Insbesondere kann die Querschnittsfläche 51 der linsenförmigen Ausnehmung 50 zumindest näherungsweise gleich groß wie die Querschnittsfläche 52 der Wicklung 18 sein. Durch die linsenförmige Ausnehmung 50 weist die passive Membran 16 Innenseiten 53, 54 auf, die einander zugewandt sind. Die passive Membran 16 kann hierbei gewölbeförmig ausgestaltet sein, wodurch eine mechanische Stabilität, insbesondere Steifigkeit, verbessert ist. Speziell kann die passive Membran 16 somit bezüglich der Betätigungsrichtung 35 steif ausgestaltet sein.

[0061] Außerdem ist in diesem Ausführungsbeispiel ein Kühlsystem 60 vorgesehen, das eine Kühlflüssigkeit in die linsenförmige Ausnehmung 15 hinein und wieder heraus führt. Hierfür sind ein Zulaufkanal 61 und ein Ablaufkanal 62 zusammen mit der elektrischen Zuleitung 26 durch die Durchgangsöffnung 25 an der Außenseite 22 der passiven Membran 16 in die linsenförmige Ausnehmung 50 geführt. Hierbei kann auf geeignete Weise Kühlflüssigkeit aus dem Zulaufkanal 61 in die linsenförmige Ausnehmung 50 strömen. Entsprechend kann auf geeignete Weise Kühlflüssigkeit aus der linsenförmigen Ausnehmung 50 über den Ablaufkanal 62 abfließen. Hierbei kann eine Strömung in der linsenförmigen Ausnehmung 50 erzeugt werden, die durch Pfeile 63, 64 veranschaulicht ist. Somit ist die Kühlleistung erheblich gesteigert.

[0062] Fig. 3 zeigt ein Signalablaufdiagramm in einer schematischen Darstellung zur Erläuterung der Funktionsweise der Erfindung. Hierbei ist an der Abszisse 65 die Zeit angetragen, während an der Ordinate 66 die auf die aktive Membran 15 wirkende resultierende Kraft, das heißt die Summe aller Kräfte, angetragen ist. Auf die aktive Membran 15 wirkt zunächst ein erster Kraftstoß 67, der durch die magnetische Kraft von der Wicklung 18 auf die aktive Membran 15 verursacht ist. Daran schließt sich zweiter Kraftstoß 68 an, der sich teilweise mit dem ersten Kraftstoß 67 überlagert. In der Darstellung ist hierbei eine

teilweise Auflösung der beiden Kraftstöße 67, 68 dargestellt, wie es durch die beiden Gipfel veranschaulicht ist. Durch die Überlagerung der beiden Kraftstöße 67, 68 ist eine maximale Gesamtkraft 69 größer als eine maximale Kraft 70 des ersten Kraftstoßes 67. Dies bewirkt eine entsprechend größere Auslenkung der aktiven Membran 15. Durch die beiden Kraftstöße 67, 68 ist zumindest näherungsweise eine aktive Zeit 71 des elektromagnetischen Aktormoduls 2 bestimmt. Nach Ablauf einer Betriebsperiode 72 des elektromagnetischen Aktormoduls 2 schließen sich weitere Kraftstöße 67', 68' an. Hierbei überlagert sich der zweite Kraftstoß 68' mit dem ersten Kraftstoß 67'. Die Länge der Betriebsperiode 72 ist innerhalb gewisser Grenzen variabel. Beispielsweise hängt die Länge der Betriebsperiode 72 von der Drehzahl der Brennkraftmaschine ab. Beispielsweise kann ein Verhältnis der Betriebsperiode 72 zu der aktiven Zeit 71 typischerweise größer als 2000 sein. Die aktive Zeit 71 und die Betriebsperiode 72 sind in dem Diagramm nur schematisch und nicht maßstabsgetreu dargestellt.

[0063] Fig. 4 zeigt die Steuerung 29 mit mehreren Wicklungen 18A, 18B, 18C des elektromagnetischen Aktormoduls 2 eines Brennstoffeinspritzventils 1 entsprechend einem dritten Ausführungsbeispiel in einer schematischen Darstellung. In diesem Ausführungsbeispiel sind drei Wicklungen 18A bis 18C dargestellt. Diese drei Wicklungen 18A bis 18C kommen anstelle einer einzelnen Wicklung 18 zum Einsatz und sind zwischen den Membranen 15, 16 angeordnet. In diesem Ausführungsbeispiel ist die aktive Membran 15 schematisch dargestellt.

[0064] Die Steuerung 29 weist einen Impulsgenerator 80 auf. Ferner sind Ladeschaltungen 81A, 81B, 81C vorgesehen, die zu dem Aufladen von Stoßkapazitäten 82A, 82B, 82C dienen. Die Ladeschaltungen 81A bis 81C werden hierbei über eine Ladespannung gespeist. Hierfür kann beispielsweise ein Hochspannungstransformator vorgesehen sein, dessen Hochspannung über einen Gleichrichter in die gleichgerichtete Ladespannung für die Ladeschaltungen 81A bis 81C umgesetzt wird. Die Ladeschaltungen 81A bis 81C weisen hierbei beispielsweise geeignete Ladewiderstände auf, um die Stoßkapazitäten 82A bis 82C in der gewünschten Zeit aufzuladen. Der Ladevorgang erfolgt hierbei beispielsweise relativ langsam, beispielsweise im Millisekundenbereich. Der Impulsgenerator 80 erzeugt Triggersignale, die über Leitungen 83A, 83B, 83C an elektronische Schalter 84A, 84B, 84C zum Auslösen eines Schaltvorgangs geführt werden. Die Schalter 84A bis 84C können beispielsweise als Thyristoren ausgestaltet sein. Beim Schalten der elektronischen Schalter 84A bis 84C werden die Stoßkapazitäten 82A bis 82C auf die einzelnen Wicklungen 18A bis 18C geschaltet. Hierdurch werden Impulsströme in den Wicklungen 18A bis 18C erzeugt. Die Stoßkapazitäten 82A bis 82C entladen sich hierbei über die Impulsströme. Der Impulsgenerator 80, der als Triggererichtung 80 dient, kann hierbei zu frei programmierbaren Zeitpunkten die einzelnen Schaltsignale zum

Schalten der Schalter 84A, 84B, 84C ausgeben. Somit können die Impulsströme für die Wicklungen 18A bis 18C zu geeigneten Zeitpunkten und nicht notwendigerweise gleichzeitig erzeugt werden.

[0065] Durch die sehr hohen Anstiegsflanken der Impulsströme für die Wicklungen 18A bis 18C werden in allen umliegenden Leitern in Abhängigkeit von der Eindringtiefe Wirbelströme induziert. Die Größe und die Zeit dieser Wirbelströme ist von der Geometrie der Leiter, ihrer Materialzusammensetzung und von der Eindringtiefe abhängig. Das elektromagnetische Aktormodul 2 ist so ausgestaltet, dass sich die Wirbelströme vor allem in den gut leitfähigen Membranen 15, 16 ausbreiten.

[0066] In der Fig. 4 sind magnetische Flüsse 85A, 85B, 85C der einzelnen Wicklungen 18A, 18B, 18C veranschaulicht. In der Summe ergibt sich hierdurch ein Magnetfeld beziehungsweise magnetischer Fluss 86. Dieser magnetische Fluss 86 durchdringt insbesondere die aktive Membran 15, so dass die Wirbelströme in der aktiven Membran 15 erzeugt werden. Hierdurch kommt es zu einer Betätigung der aktiven Membran 15 in der Betätigungsrichtung 35.

[0067] Die Steuerung 29 kann weitere Komponenten aufweisen. Insbesondere kann zwischen die einzelnen Leitungen jeweils eine Freilaufdiode geschaltet sein. Beispielsweise kann zwischen Leitungen 87, 88, die den elektronischen Schalten 84A mit der Wicklung 18A verbinden, eine Freilaufdiode geschaltet sein. Entsprechendes gilt für die anderen Wicklungen 18B, 18C. Somit kann bei einer Stromrichtungsänderung die jeweilige Wicklung 18A bis 18C kurzgeschlossen werden. Solche Freilaufdioden sind in vorteilhafter Weise in die in der Fig. 4 dargestellten Schalter 84A, 84B, 84C integriert.

[0068] Die Wirbelstromerzeugung in den Membranen 15, 16 kann mit hohem Wirkungsgrad erfolgen, indem gut leitende Werkstoffe, insbesondere Kupfer, für die Membranen 15, 16 zum Einsatz kommen.

[0069] Fig. 5 zeigt ein Signalverlaufdiagramm zur Veranschaulichung der Funktionsweise des elektromagnetischen Aktormoduls 2 mit der Steuerung 29 entsprechend dem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Hierbei ist an der Abszisse die Zeit angetragen. An der Ordinate sind die Stromimpulse 90A, 90B, 90C, die resultierende Kraft 91 auf die aktive Membran 15 und zum Vergleich die Auslenkung 92 bei einer einzigen Wicklung 18 dargestellt, wobei ein Aufbau des elektromagnetischen Aktormoduls 2 ohne passive Membran 16 zugrunde gelegt ist. Die zusätzliche Wirkung der passiven Membran 16 ist daher bei der Darstellung der Fig. 5 nicht berücksichtigt.

[0070] Zur Veranschaulichung sind Triggerzeiten 93A, 93B, 93C vorgegeben, zu denen der Impulsgenerator 80 die einzelnen Schalter 84A bis 84C betätigt. Hierdurch werden die einzelnen Wicklungen 18A bis 18C nacheinander durchstromt, was durch die Stromimpulse 90A bis 90C veranschaulicht ist. Durch die einzelnen magnetischen Flüsse 85A bis 85C ergibt sich ein Magnetfeld 86, das eine resultierende Kraft 91 auf die aktive Membran

15 ausübt. Entsprechend der resultierenden Kraft 91 kommt es auch zu einer Auslenkung der aktiven Membran 15. Hierbei ist insbesondere der steile Anstieg im Vergleich zu einer Anregung mit einer einzigen Wicklung, wie es durch die Kurve 92 veranschaulicht ist, bedeutend.

[0071] Je nach Wahl der Triggerzeiten 93A bis 93C kann somit die Kraftamplitude 91 geformt werden. Speziell kann eine Gesamtdauer 94 gezielt beeinflusst werden. Durch die Ausgestaltung dieser zeitlichen Kraftform 91 und damit der entsprechenden Anregungskraft zur Erzeugung der Stoßwelle 42 kann die Energieumwandlung im elektromagnetischen Aktormodul 2 besonders wirksam gestaltet werden und wesentlich besser an die spezifischen Eigenschaften des Mediums 41, insbesondere des Brennstoffs 41, angepasst werden.

[0072] Das Verhältnis der Betriebsperiode des elektromagnetischen Aktormoduls 2 und der aktiven Bestromungszeit der einzelnen Erregerspulen (Wicklungen) 18A bis 18C kann typischerweise größer als 1000 sein. Hierdurch können im Mikrosekundenbereich sehr hohe Stromdichten angewendet werden. Die Erwärmung der Leiter erfolgt sehr schnell, fast adiabatisch. Nach der kurzen Bestromung folgt eine relativ lange Phase der Wärmeabgabe von den Leitern in das Kühlsystem 60. In der Folge liegt die physikalische Grenze für die Krafterzeugung primär nicht in der Wärmeentwicklung, sondern in den hohen mechanischen Kräften innerhalb der Wicklungen 18A bis 18C. Diese Kräfte können ausreichend abgefangen und abgestützt werden. Die Konstruktionsteile des Aktormoduls 2 sind hierbei aus nicht ferromagnetischen Materialien ausgeführt, die nach Möglichkeit eine sehr gute thermische Leitfähigkeit aufweisen.

[0073] Die elektromechanische Konstruktion des elektromagnetischen Aktormoduls 2 ist so ausgelegt, dass nach einer impulsartigen Bestromung zuerst die leichtere aktive Membran 15 reagiert, die von den Wicklungen 16A bis 16C abgestoßen wird, und die erste steile Spitze der Stoßwellenfront erzeugt wird. Die elektromechanische Konstruktion kann insbesondere über die Stärke der Membranen 15, 16 und deren Steifigkeiten ausgelegt werden.

[0074] Somit kann das elektromagnetische Aktormodul 2 mehrere Wicklungen 18A bis 18C aufweisen. Die Wicklungen 18A bis 18C sind hierbei einzeln von der Steuerung 29 ansteuerbar. Die Steuerung 29 weist mehrere den einzelnen Wicklungen 18A bis 18C zugeordnete Stoßkapazitäten 82A bis 82C auf, die zu vorgegebenen Zeitpunkten (Triggerzeiten) 83A bis 83C entladen werden. Durch das Entladen der Stoßkapazitäten 82A bis 82C zu den Triggerzeiten 83A bis 83C werden Impulsströme 90A bis 90C in den Wicklungen 18A bis 18C erzeugt. Die Stoßkapazitäten 82A bis 82C sind hierbei so ausgestaltet, dass die erzeugten Impulsströme 90A bis 90C steile Anstiegsflanken 95A, 95B, 95C aufweisen.

[0075] Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt.

Patentansprüche

1. Elektromagnetisches Aktormodul (2), insbesondere für Brennstoffeinspritzventile oder Fluidinjektoren, mit einer aktiven Membran (15), einer passiven Membran (16) und einem Stator (17), der zwischen der aktiven Membran (15) und der passiven Membran (16) angeordnet ist, wobei der Stator (17) zumindest eine Wicklung (18) aufweist und wobei die passive Membran (16) zumindest mittelbar an zumindest einem Gehäuseteil (3, 5) abgestützt ist. 5
2. Elektromagnetisches Aktormodul nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** eine Außenseite (22) der passiven Membran (16) zumindest im Wesentlichen mit einer amorphen Schicht (24) beschichtet ist. 10
3. Elektromagnetisches Aktormodul nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** die passive Membran (16) zumindest eine Durchgangsöffnung (25) aufweist, die zumindest näherungsweise in einer Mitte einer Außenseite (22) der passiven Membran (16) angeordnet ist und dass durch die Durchgangsöffnung (25) eine elektrische Zuleitung (26) für die Wicklung (18) zu dem Stator (17) geführt ist. 15
4. Elektromagnetisches Aktormodul nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** die elektrische Zuleitung (26) als flexible und/oder bewegbare elektrische Zuleitung (26) ausgebildet ist. 20
5. Elektromagnetisches Aktormodul nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** die passive Membran (16) zumindest über ein nicht lineares Federelement (30) an dem Gehäuseteil (3, 5) abgestützt ist. 25
6. Elektromagnetisches Aktormodul nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** ein Stempel (6) vorgesehen ist, der über eine Schraubverbindung (7, 9) mit einem Gehäuseteil (5) verbunden ist, dass ein Keramikteil (31) vorgesehen ist, das zwischen einer der passiven Membran (16) zugewandten Seite (11) des Stempels (6) und der passiven Membran (16) angeordnet ist, dass die passive Membran (16) über das nicht lineare Federelement (30) an dem Keramikteil (31) abgestützt ist und dass durch die Schraubverbindung (7, 9) eine Vorspannung des nicht linearen Federelements (30) einstellbar ist. 30
7. Elektromagnetisches Aktormodul nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** eine Außenseite (21) der aktiven Membran (15) zumindest im Wesentlichen mit einer amorphen Schicht (23) beschichtet ist. 35
8. Elektromagnetisches Aktormodul nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** an der aktiven Membran (15) in einem Randbereich (33) der aktiven Membran (15) eine Federaufnahme (34) ausgestaltet ist, die ein ringförmiges Federelement (32) aufnimmt, und dass die aktive Membran (15) über das ringförmige Federelement (32) zumindest mittelbar an einem Gehäuseteil (4, 5) abgestützt ist. 40
9. Elektromagnetisches Aktormodul nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** die passive Membran (16) eine zumindest näherungsweise linsenförmige Ausnehmung (50) aufweist und dass eine Querschnittsfläche (51) der linsenförmigen Ausnehmung (50) senkrecht zu einer Betätigungsrichtung (35) der aktiven Membran (16) zumindest näherungsweise eine Querschnittsfläche (52) der Wicklung (18) des Stators (17) umfasst. 45
10. Elektromagnetisches Aktormodul nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** ein Kühlsystem (60) vorgesehen ist und dass das Kühlsystem (60) ausgestaltet ist, eine Kühlflüssigkeit durch die linsenförmige Ausnehmung (50) der passiven Membran (16) zu führen. 50
11. Elektromagnetisches Aktormodul nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** in zumindest einem Gehäuseteil (3) zumindest ein Kühlkanal (43, 44) ausgestaltet ist. 55
12. Elektromagnetisches Aktormodul nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** die aktive Membran (15) gegen die passive Membran (16) mit einer Vorspannung beaufschlagt ist und dass die aktive Membran (15) über den Stator (17) an die passive Membran (16) gepresst ist.
13. Elektromagnetisches Aktormodul nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** mehrere Wicklungen (18A, 18B, 18C) vorgesehen sind, dass die Wicklungen (18A, 18B, 18C) einzeln ansteuerbar sind, dass eine Steuerung (29) und mehrere den Wicklungen (18A, 18B, 18C) zugeordneten Stoßkapazitäten (82A, 82B, 82C) vorgesehen sind und dass die Steuerung (29) ausgestaltet ist, die Stoßkapazitäten (82A, 82B, 82C) zu vorgegebenen Zeiten (93A, 93B, 93C) zum Erzeugen von Impulsströmen (90A, 90B, 90C) durch die Wicklungen (18A, 18B, 18C) zu entladen.

14. Elektromagnetisches Aktormodul nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Stoßkapazitäten (82A, 82B, 82C) so ausgestaltet sind, dass die erzeugten Impulsströme (90A, 90B, 90C) steile Anstiegsflanken (95A, 95B, 95C) aufweisen. 5
15. Einspritzventil (1), insbesondere Injektor für Brennstoffeinspritzanlagen oder Fluidinjektor, mit einem elektromagnetischen Aktormodul (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 14. 10
16. Verfahren zum Betreiben eines elektromagnetischen Aktormoduls bzw. eines Einspritzventils mit einem solchen elektromagnetischen Aktormodul, bei dem eine aktive Membran, eine passive Membran und ein Stator vorgesehen wird, wobei der Stator zwischen der aktiven Membran und der passiven Membran angeordnet ist und zumindest eine Wicklung aufweist, wobei die passive Membran zumindest mittelbar an zumindest einem Gehäuseteil abgestützt wird. 15
20

25

30

35

40

45

50

55

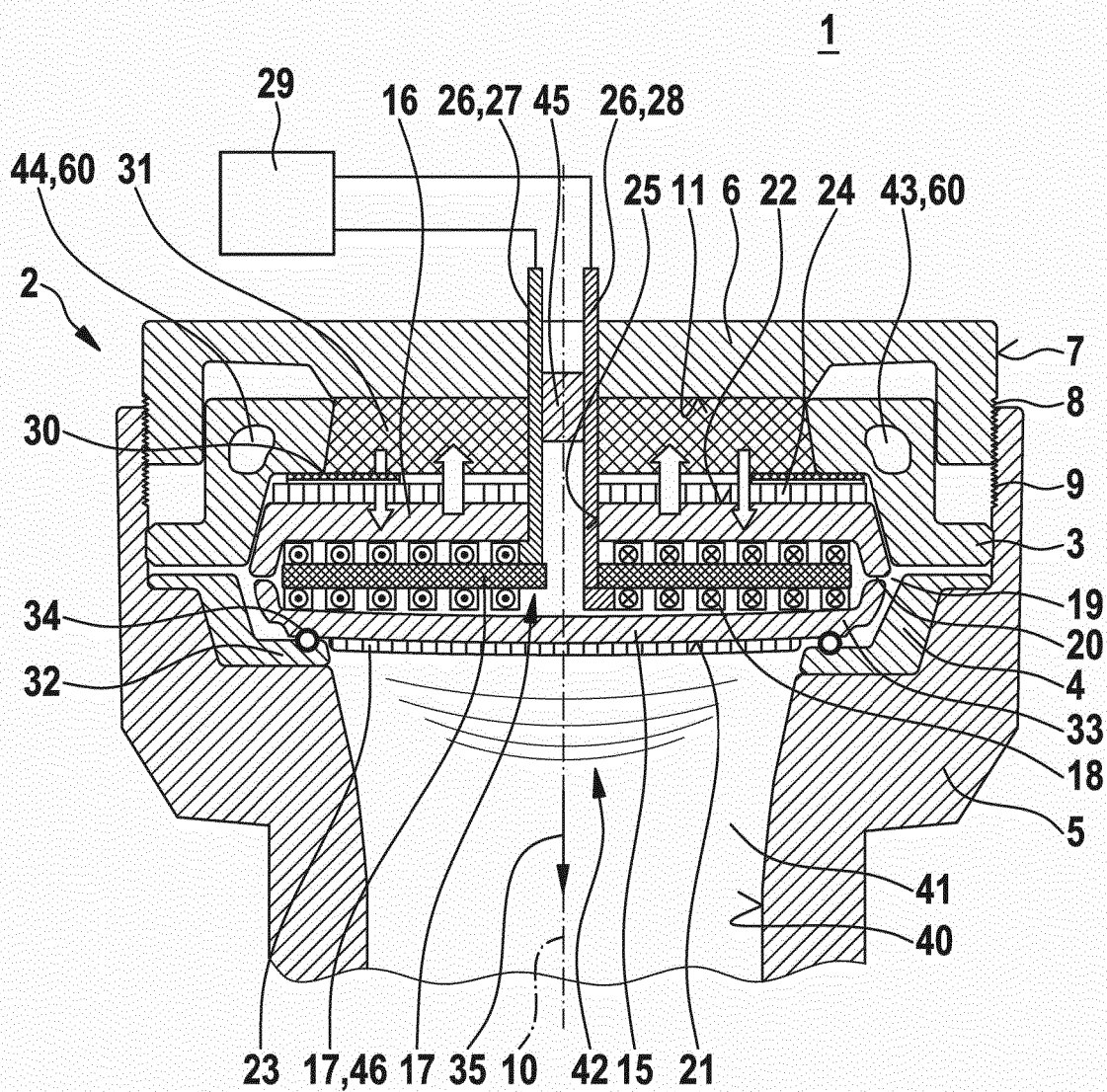
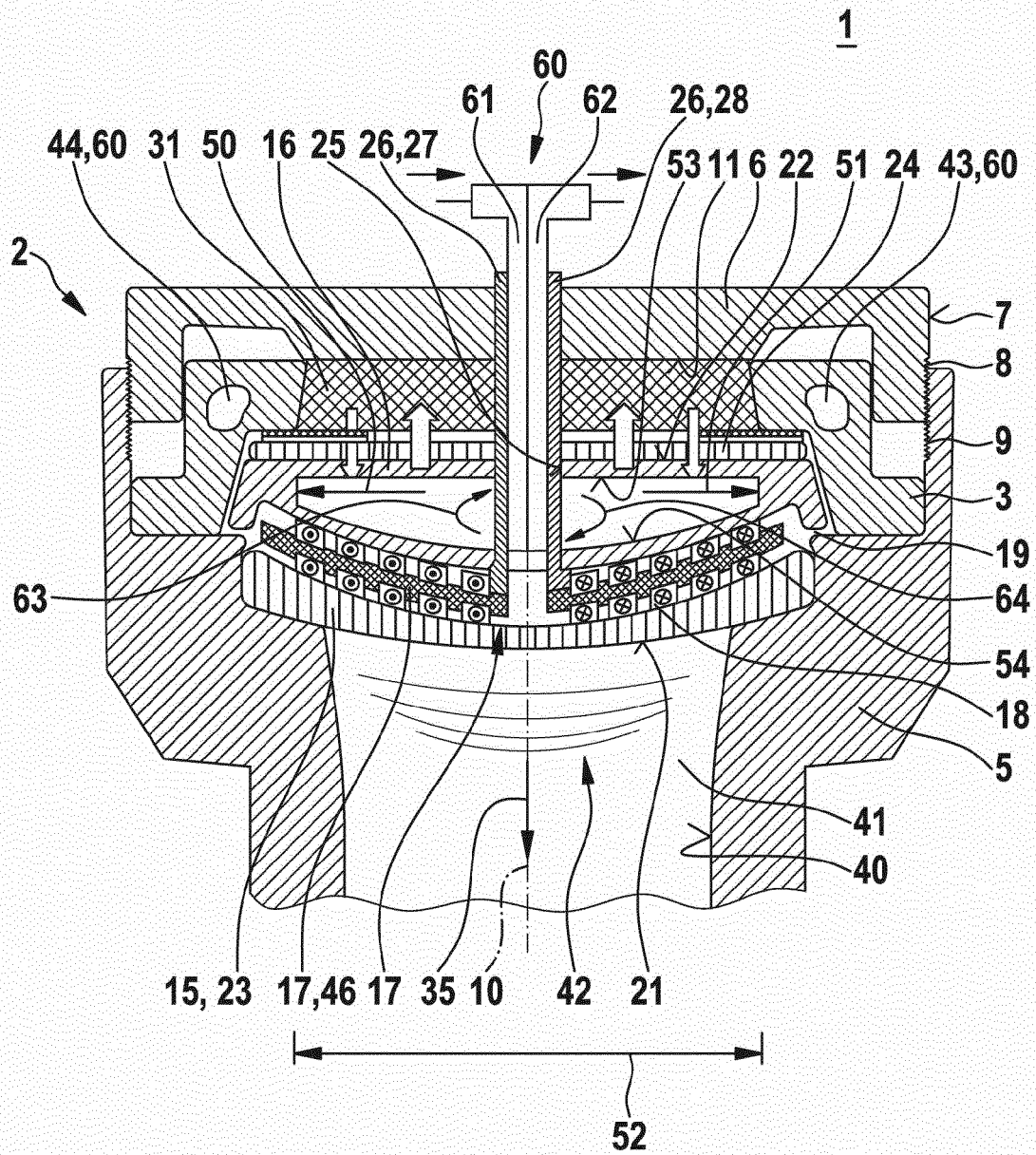


Fig. 1



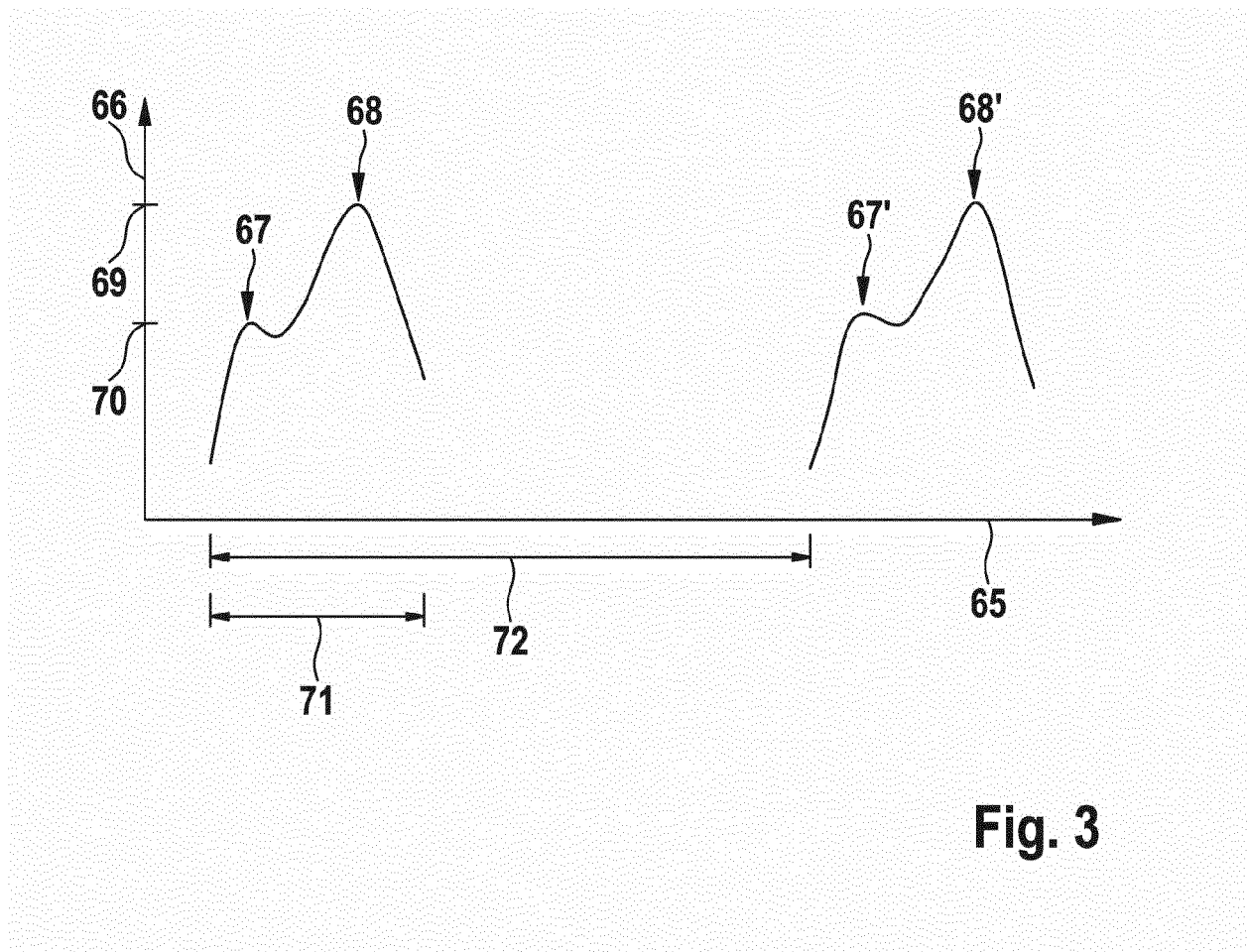


Fig. 3

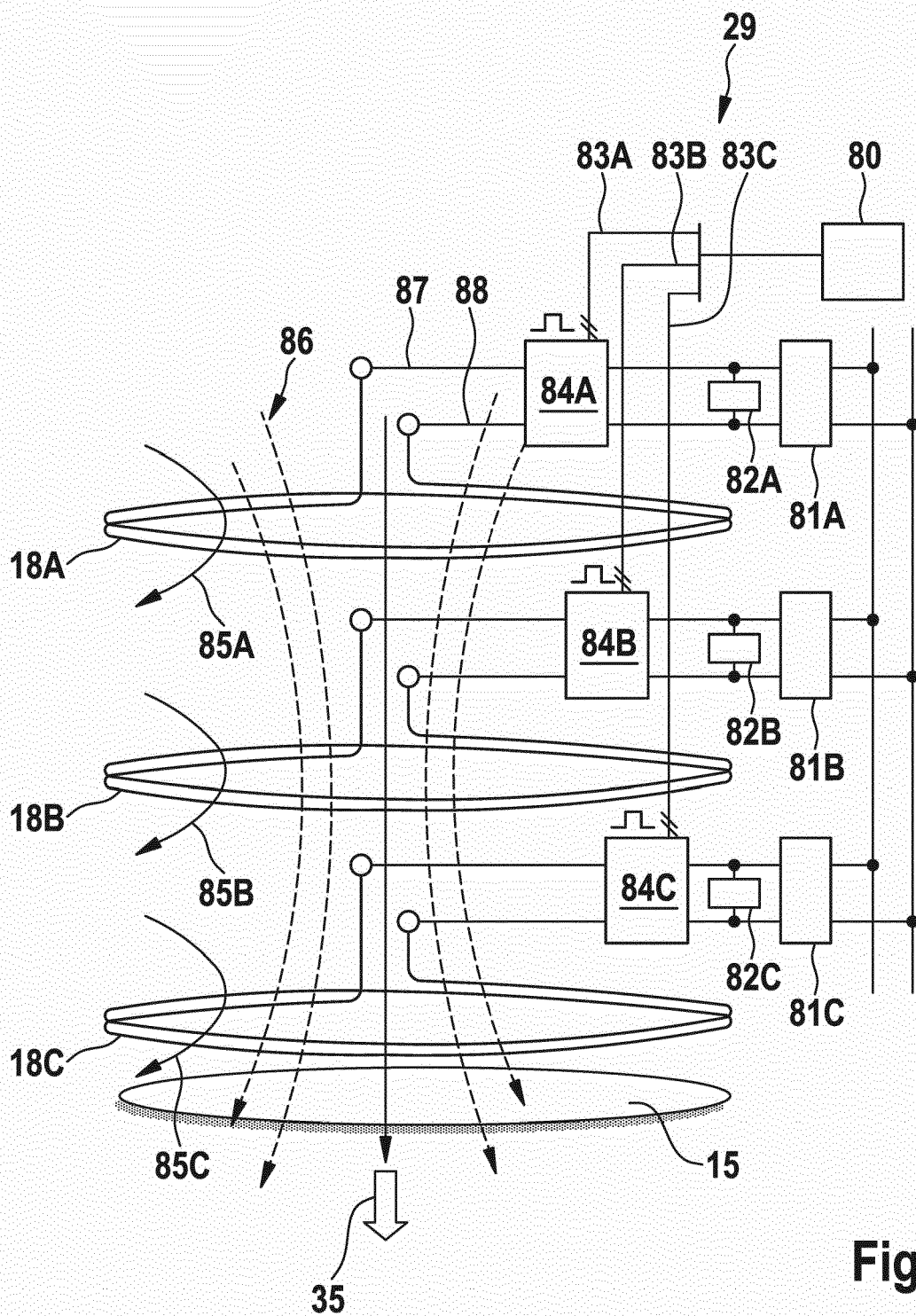


Fig. 4

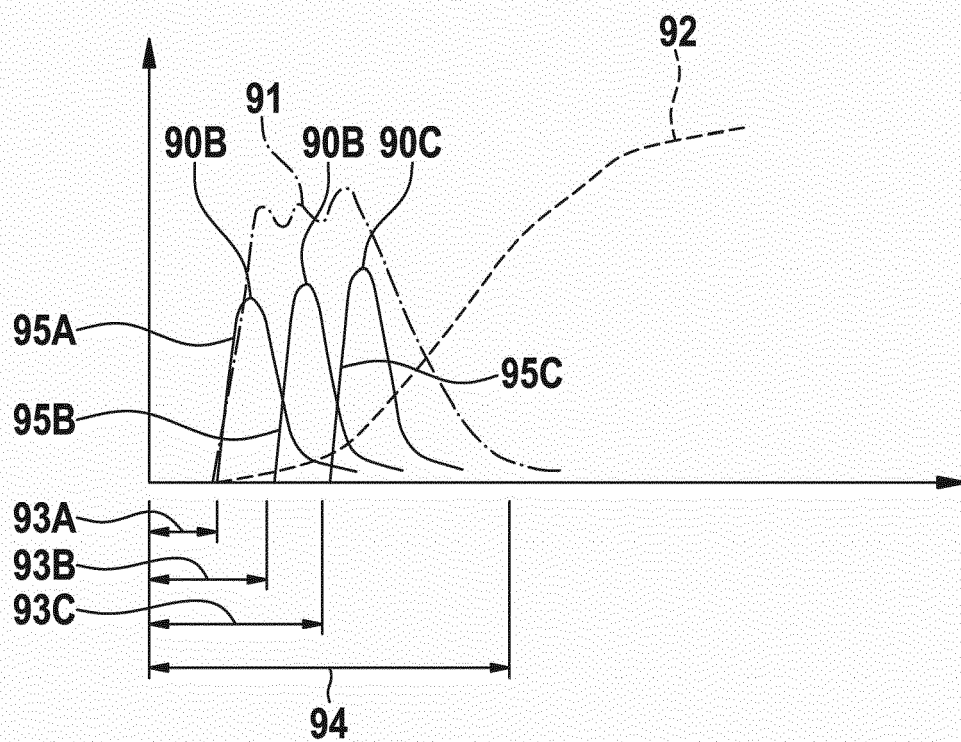


Fig. 5



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 11 18 6281

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	DE 10 2006 026153 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 13. Dezember 2007 (2007-12-13) * Seite 2, Absatz 0007; Abbildung 1 * * Seite 3, Absatz 0016 * -----	1-16	INV. F02M51/06 F02M63/06
A,P	WO 2011/076452 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; DUKART ANTON [DE]; OHLHAFFER OLAF [DE]; SCHMIDT) 30. Juni 2011 (2011-06-30) * Seite 5, Zeile 4 - Seite 6, Zeile 10; Abbildung 1 * -----	1-16	
A	US 4 272 661 A (DETHLEFSEN ROLF) 9. Juni 1981 (1981-06-09) * Spalte 1, Zeilen 31-57; Abbildung 1 * -----	1-16	
A	EP 2 177 748 A2 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 21. April 2010 (2010-04-21) * Zusammenfassung; Abbildung 1 * -----	1-16	
A	US 5 903 204 A (SCHMITZ GUENTER [DE] ET AL) 11. Mai 1999 (1999-05-11) * Spalte 4, Zeile 13 - Spalte 5, Zeile 7; Abbildung 1 * -----	1-16	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F02M H01H
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 6. März 2012	Prüfer Etschmann, Georg
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 11 18 6281

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

06-03-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102006026153 A1	13-12-2007	AT 546638 T	15-03-2012
		DE 102006026153 A1	13-12-2007
		EP 2029887 A1	04-03-2009
		JP 2009540176 A	19-11-2009
		US 2009302131 A1	10-12-2009
		WO 2007141071 A1	13-12-2007
-----		-----	
WO 2011076452 A1	30-06-2011	DE 102009055042 A1	22-06-2011
		WO 2011076452 A1	30-06-2011
-----		-----	
US 4272661 A	09-06-1981	KEINE	
-----		-----	
EP 2177748 A2	21-04-2010	DE 102008042850 A1	22-04-2010
		EP 2177748 A2	21-04-2010
		JP 2010096182 A	30-04-2010
		US 2010187336 A1	29-07-2010
-----		-----	
US 5903204 A	11-05-1999	DE 19808492 A1	15-10-1998
		DE 29706491 U1	06-08-1998
		JP 10294214 A	04-11-1998
		US 5903204 A	11-05-1999
-----		-----	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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

- US 5903204 A [0002]