



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
22.01.2003 Patentblatt 2003/04

(51) Int Cl.7: **F02D 41/20**, F02D 41/22,
F02M 65/00

(21) Anmeldenummer: **02013384.9**

(22) Anmeldetag: **19.06.2002**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH**
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
• **Baeuerle, Michael**
71254 Ditzingen-Heimerdingen (DE)
• **Ries-Mueller, Klaus**
74906 Bad Rappenau (DE)

(30) Priorität: **21.07.2001 DE 10135735**

(54) **Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, insbesondere mit Direkteinspritzung, sowie Computerprogramm und Steuer- und/oder Regelgerät**

(57) Bei einer Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung wird der Kraftstoff mindestens einer Kraftstoff-Einspritzeinrichtung gefördert. Um im Betrieb der Brennkraftmaschine Verbrennungsaussetzer zu vermeiden,

wird vorgeschlagen, dass mindestens ein zu mindestens einer Austrittsöffnung der Kraftstoff-Einspritzeinrichtung benachbarter Bereich mindestens zeitweise in eine hochfrequente Schwingung (84) versetzt wird.

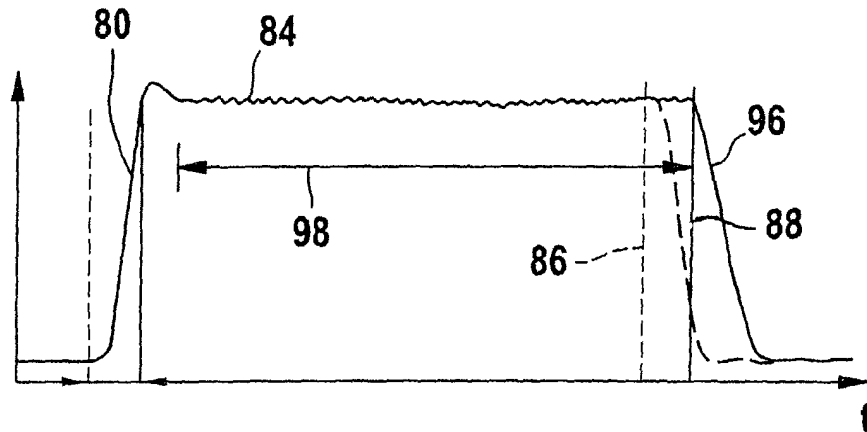


Fig. 4

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft zunächst ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, insbesondere mit Direkteinspritzung, bei dem der Kraftstoff zu mindestens einer Einspritzeinrichtung gefördert wird und von dieser in mindestens einen Brennraum gelangt.

[0002] Ein solches Verfahren ist aus der DE 199 45 813 A1 bekannt. In dieser ist eine Brennkraftmaschine beschrieben, bei der der Kraftstoff von einem Einspritzventil direkt in den Brennraum der Brennkraftmaschine eingespritzt wird. Über eine Aussetzererkennung wird auf Ablagerungen im Brennraum bzw. am Einspritzventil geschlossen. Solche Ablagerungen können zu einer Beeinträchtigung des Kraftstoffstrahls und hierdurch insbesondere im Schichtbetrieb der Brennkraftmaschine zu einer Beeinträchtigung der Verbrennung bis hin zu Verbrennungsaussetzern führen. Um erkannte Ablagerungen am Einspritzventil zu entfernen, wird vorgeschlagen, eine klopfende Verbrennung herbeizuführen und/oder eine Reinigungsflüssigkeit in den Brennraum der Brennkraftmaschine einzuleiten.

[0003] Die vorliegende Erfindung hat die Aufgabe, ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzubilden, dass Verunreinigungen an einer Einspritzeinrichtung noch einfacher und sicherer entfernt oder sogar von vornherein verhindert werden können. Dabei soll der Betrieb der Brennkraftmaschine nicht beeinträchtigt werden.

[0004] Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass mindestens ein zu mindestens einer Austrittsöffnung der Kraftstoff-Einspritzeinrichtung benachbarter Bereich mindestens zeitweise in eine hochfrequente Schwingung versetzt wird.

Vorteile der Erfindung

[0005] Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, dass Ablagerungen, beispielsweise Verkokungen, welche im Bereich der Austrittsöffnungen der Einspritzeinrichtung vorhanden sein können, zuverlässig gelöst werden können. Hierdurch wird gewährleistet, dass die Austrittsöffnungen immer den maximalen und vorgesehenen Querschnitt aufweisen. Dabei bleibt der Betrieb der Brennkraftmaschine im Wesentlichen unbeeinflusst, da weder eine klopfende Verbrennung herbeigeführt wird noch Zusatzstoffe in den Brennraum eingeleitet werden. Dies kommt beispielsweise der Qualität der Emissionen und der Laufruhe der Brennkraftmaschine zu gute.

[0006] Da der Betrieb der Brennkraftmaschine weitgehend unbeeinflusst bleibt, kann die erfindungsgemäße Maßnahme auch prophylaktisch durchgeführt werden, so dass sich erst gar keine Ablagerungen an der Einspritzeinrichtung bilden können.

[0007] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in Unteransprüchen angegeben.

[0008] In einer ersten Weiterbildung wird vorgeschlagen, dass ein Ventilelement der Kraftstoff-Einspritzeinrichtung mindestens zeitweise in eine hochfrequente Schwingung versetzt wird. Die Schwingung des Ventilelements wird auf den sich zwischen dem Ventilelement und der Austrittsöffnung befindlichen Kraftstoff und von dort auf den die Austrittsöffnungen umgebenden Bereich übertragen, was das Lösen von Ablagerungen im Bereich der Austrittsöffnung erleichtert. Diese Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens arbeitet also mit hohem Wirkungsgrad. Darüber hinaus ist es einfach zu realisieren, da es sich bei dem Ventilelement um ein ohnehin hoch dynamisch bewegtes Teil handelt, welches technisch relativ einfach in eine hochfrequente Schwingung versetzt werden kann.

[0009] Dabei wird vorgeschlagen, dass das Ventilelement während mindestens eines Bereichs mindestens einer Öffnungsphase in die hochfrequente Schwingung versetzt wird. Somit kann die Reinigung der Austrittsöffnung während des normalen Betriebs der Brennkraftmaschine erfolgen, was eine häufige Reinigung der Austrittsöffnungen ermöglicht.

[0010] Bevorzugt ist dabei auch, dass das Ventilelement durch einen Piezoaktor betätigt und die hochfrequente Schwingung durch eine hochfrequente Überlagerung der Steuerspannung oder des Steuerstroms des Piezoaktors erzeugt wird. Bei einem Piezoaktor handelt es sich um ein hochdynamisches Antriebselement für ein Ventilelement, mit dem die hochfrequenten Schwingungen sehr zuverlässig und preiswert erzeugt werden können.

[0011] In einer anderen Weiterbildung ist aufgeführt, dass bei einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine die Drehmomente und/oder die Lambdawerte der einzelnen Zylinder bestimmt und verglichen werden, um eine mögliche Verschmutzung mindestens einer Austrittsöffnung der Einspritzeinrichtungen zu erkennen, und dass dann, wenn eine maximal zulässige Abweichung des Drehmoments und/oder des Lambdawerts mindestens eines Zylinders von mindestens von einem anderen Zylinder, erreicht und/oder überschritten wird, mindestens ein zu mindestens einer Austrittsöffnung der Kraftstoff-Einspritzeinrichtung benachbarter Bereich mindestens zeitweise in eine hochfrequente Schwingung versetzt wird.

[0012] Bei dieser Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann also erkannt werden, wann eine Reinigung der Austrittsöffnungen bzw. der den Austrittsöffnungen benachbarter Bereich von Einspritzventilen erforderlich ist. Dem liegt der Gedanke zugrunde, dass im allgemeinen nicht alle Austrittsöffnungen aller Einspritzventile in der gleichen Weise verändert, eingengt oder verstopft werden. Haben jedoch die Austrittsöffnungen der Einspritzeinrichtung eines Zylinders insgesamt einen anderen Querschnitt als die Austrittsöffnungen der Einspritzeinrichtung eines anderen Zylinders, kommt es zu unterschiedlichen Luft-Kraftstoff-Mischungsverhältnissen und/oder einer unterschiedlichen

Verbrennung in den einzelnen Zylindern, was sich in einer Abweichung des Drehmoments und/oder des Lambdawerts eines Zylinders von dem des anderen Zylinders ausdrückt. Bei diesem erfindungsgemäßen Verfahren wird also auf eine einfache Art und Weise, ohne dass zusätzliche Komponenten erforderlich sind, der Zustand der Austrittsöffnungen der Einspritzeinrichtungen überwacht und ggf. eine Reinigungssequenz eingeleitet. Die entsprechend betriebene Brennkraftmaschine kann also, ohne Zutun eines Benutzers, immer optimal betrieben werden.

[0013] In Weiterbildung hierzu wird vorgeschlagen, dass nach dem Ende der Zeitdauer, während der mindestens ein zu den Austrittsöffnungen benachbarter Bereich der Kraftstoff-Einspritzeinrichtungen zeitweise in eine hochfrequente Schwingung versetzt wurde, nochmals die Drehmomente und/oder die Lambdawerte der einzelnen Zylinder bestimmt und verglichen werden, um zu erkennen, ob eine mögliche Verschmutzung der Austrittsöffnungen der Einspritzventile entfernt wurde, und dass dann, wenn eine maximal zulässige Abweichung des Drehmoments und/oder des Lambdawerts mindestens eines Zylinders von mindestens einem anderen Zylinder erreicht und/oder überschritten wird, mindestens ein zu mindestens einer Austrittsöffnung der Kraftstoff-Einspritzeinrichtung benachbarter Bereich mindestens zeitweise in eine hochfrequente Schwingung versetzt wird.

[0014] Bei dieser Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nach einer Reinigungssequenz überprüft, ob die Reinigung erfolgreich war. Hat die Zeitdauer, während der die hochfrequente Schwingung erzeugt worden war, noch nicht ausgereicht, um die Austrittsöffnungen in ausreichender Art und Weise freizumachen, wird automatisch, ohne Zutun eines Benutzers, nochmals eine Restreinigungssequenz initiiert. Durch dieses erfindungsgemäße Verfahren wird somit noch besser gewährleistet, dass die Austrittsöffnungen der Einspritzventile im Wesentlichen immer einen optimalen und freien Querschnitt aufweisen.

[0015] In Weiterbildung hierzu wird vorgeschlagen, dass dann, wenn eine maximale Anzahl von Durchläufen des Verfahrens der obigen Art erreicht und/oder überschritten wird, eine Fehlermeldung ausgegeben und/oder in einem Speicher abgelegt wird. Wenn nach einer bestimmten Anzahl von Durchläufen erkannt wird, dass die Reinigungssequenzen keine ausreichende Verbesserung der Gemischqualität im Brennraum bewirken, muss davon ausgegangen werden, dass die Ursache für die fehlerhafte Gemischzusammenstellung im Brennraum nicht in einer Verschmutzung der Austrittsöffnungen der Kraftstoff-Einspritzeinrichtungen liegt. Dies wird dem Benutzer der Brennkraftmaschine signalisiert und/oder für eine spätere Wartung eine entsprechende Fehlermeldung in einem Speicher abgelegt. Bei diesem erfindungsgemäßen Verfahren wird also sichergestellt, dass nicht unnötigerweise Reinigungssequenzen durchgeführt werden. Verbessert sich die Gemisch-

qualität nach einer Reinigungssequenz, so kann auch diese Information im Fehlerspeicher abgelegt werden. Die Werkstatt erhält so eine Information, wie oft die Kraftstoff-Einspritzvorrichtungen verkocht sind.

[0016] Besonders gut arbeitet das erfindungsgemäße Verfahren dann, wenn die hochfrequente Schwingung eine Frequenz aufweist, welche im Ultraschallbereich liegt. Hierdurch können relativ große Energien übertragen werden, die eine Ablösung auch hartnäckiger Verschmutzungen ermöglichen. Dabei tritt keine hörbare Geräusentwicklung auf.

[0017] Die Erfindung betrifft auch ein Computerprogramm, welches zur Durchführung des obigen Verfahrens geeignet ist, wenn es auf einem Computer ausgeführt wird. Dabei wird besonders bevorzugt, wenn das Computerprogramm auf einem Speicher, insbesondere auf einem Flash-Memory abgespeichert ist.

[0018] Ferner betrifft die Erfindung ein Steuer- und/oder Regelgerät zur Steuerung und/oder Regelung mindestens einer Funktion einer Brennkraftmaschine. Bei einem solchen Steuer- und/oder Regelgerät wird besonders bevorzugt, wenn es einen Speicher umfasst, auf dem ein Computerprogramm der obigen Art abgespeichert ist.

Zeichnung

[0019] Nachfolgend wird ein besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung im Detail erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipdarstellung einer Brennkraftmaschine mit einem Kraftstoffsystem und mehreren Kraftstoff-Einspritzeinrichtungen;

Fig. 2 eine teilweise geschnittene Darstellung einer der Kraftstoff-Einspritzeinrichtungen von Fig. 1;

Fig. 3 ein Diagramm, in dem der Steuerstrom eines Aktors der Kraftstoff-Einspritzvorrichtung von Fig. 2 über der Zeit dargestellt ist;

Fig. 4 ein Diagramm, in dem der Hub eines Ventilelements der Kraftstoff-Einspritzvorrichtung von Fig. 2 über der Zeit dargestellt ist; und

Fig. 5 ein Diagramm, in dem die während einer Öffnungsphase von der Kraftstoff-Einspritzeinrichtung von Fig. 2 eingespritzte Kraftstoffmenge über der Zeit dargestellt ist.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

[0020] In Fig. 1 ist eine Brennkraftmaschine strichpunktiert dargestellt und trägt insgesamt das Bezugszeichen 10. Das dazugehörige Kraftstoffsystem trägt

insgesamt das Bezugszeichen 12.

[0021] Das Kraftstoffsystem 12 umfasst einen Kraftstoffbehälter 14, aus dem eine elektrische Kraftstoffpumpe 16 den Kraftstoff über einen Filter 18 fördert. Über eine Niederdruck-Kraftstoffleitung 20 gelangt der Kraftstoff zu einer Hochdruck-Kraftstoffpumpe 22. Der Druck in der Niederdruck-Kraftstoffleitung 20 wird von einem Druckregelventil 24 geregelt.

[0022] Die Hochdruck-Kraftstoffpumpe 22 fördert den Kraftstoff unter sehr hohem Druck in eine Kraftstoff-Sammelleitung 26. Diese wird gemeinhin als "Rail" bezeichnet. Hier ist der Kraftstoff unter sehr hohem Druck gespeichert. Ein Mengensteuerventil 28 steuert die zur Kraftstoff-Sammelleitung 26 geförderte Kraftstoffmenge.

[0023] An die Kraftstoff-Sammelleitung 26 sind mehrere Kraftstoff-Einspritzventile 30a, 30b, 30c angeschlossen. Auf deren genauen Aufbau wird weiter unten im Detail eingegangen. Die Kraftstoff-Einspritzventile 30a, 30b, 30c spritzen den Kraftstoff direkt in Brennräume 32a, 32b, 32c von Zylindern 33a, 33b, 33c der Brennkraftmaschine 10 ein. Angesteuert werden die Kraftstoff-Einspritzventile 30a, 30b, 30c von einem Steuer- und Regelgerät 34.

[0024] Der genaue Aufbau der Kraftstoff-Einspritzventile 30a, 30b, 30c ergibt sich aus Fig. 2, in der beispielhaft ein Kraftstoff-Einspritzventil 30 dargestellt ist. Weitere Einzelheiten möglicher Kraftstoff-Einspritzventile sind in der DE 198 44 837 A1 beschrieben, auf deren Inhalt hiermit ausdrücklich Bezug genommen wird.

[0025] Jedes Kraftstoff-Einspritzventil 30 umfasst einen Ventilkörper 36, der mittels einer Spannmutter 38 axial gegen einen Ventilhaltekörper 40 verspannt ist. Mit seinem freien, im Querschnitt verringerten Ende ragt der Ventilkörper 36 in einen der Brennräume 32 der Brennkraftmaschine 10. In einer Bohrung 42 des Ventilkörpers 36 ist in bekannter Weise ein kolbenförmiges Ventilelement 44 axial verschieblich geführt. Seine brennraumseitige kegelförmige Stirnfläche bildet eine Ventildichtfläche 46. Diese wirkt mit einer entsprechenden hohlkegelförmig ausgebildeten Ventilsitzfläche 48 am brennraumseitigen geschlossenen Ende der Bohrung 42 zusammen. An die Ventilsitzfläche 48 schließen sich stromabwärts des einzuspritzenden Kraftstoffes mehrere, über den Umfang verteilte Austrittsöffnungen 50 in der Wand des Ventilkörpers 36 an.

[0026] Der Ventilkörper 36 weist einen durch eine Querschnittserweiterung der Bohrung 42 gebildeten Druckraum 52 auf, in den ein den Ventilkörper 36 und den Ventilhaltekörper 40 durchlaufender Zulaufkanal 54 mündet. Dieser ist über einen Hochdruckanschluss 56 mit der Kraftstoff-Sammelleitung 26 verbunden.

[0027] Zur Betätigung des durch eine Querschnittsgeometrie druckausgeglichenen Ventilelements 44 ist im Ventilhaltekörper 40 ein Piezoaktor 58 vorgesehen, welcher aus einer Vielzahl von axial aneinandergereihten Scheiben gebildet ist und dessen axiale Länge sich beim Anlegen einer Betriebsspannung verringert.

[0028] An seinem den Ventilkörper 36 zugewandten Ende ist der Piezoaktor 58 fest mit dem Ventilelement 44 verbunden. An seinem anderen Ende ist ein Ausgleichskolben 60 vorgesehen, dessen Querschnitt gegenüber dem Piezoaktor 58 kleiner ist. Sein eines Ende liegt in axialer Verlängerung an einer Stirnfläche 62 des Piezoaktors 58 an und sein freies Ende ragt in einen Ausgleichsraum 64 hinein. Das vom Ventilelement 44 abgewandte Ende des Piezoaktors 58 begrenzt einen, vom Ausgleichskolben 60 durchragten Federraum 66, in dem eine als Druckfeder wirkende Ventilfeeder 68 vorgesehen ist. Diese ist zwischen der Stirnfläche 62 des Piezoaktors 58 und einer Wand der Federkammer eingespannt und beaufschlagt das Ventilelement 44 über den Piezoaktor 58 in Schließrichtung.

[0029] Die Betätigung des Piezoaktors 58 erfolgt über elektrische Zuführungsleitungen 70, welche mit dem Steuer- und Regelgerät 34 verbunden sind.

[0030] Für eine genau definierte axiale Verstellbewegung des Piezoaktors 58 und somit eine präzise Öffnungshubbewegung des Ventilelements 44 ist am oberem, dem Ventilelement 44 abgewandten Ende des Piezoaktors 58 eine Klemmvorrichtung 72 angeordnet. Mit dieser Klemmvorrichtung 72 kann der Piezoaktor 58 während der Einspritzphase an seinem oberen Ende gegenüber dem Ventilhaltekörper 40 in seiner Lage fixiert werden. Dabei wird die Klemmvorrichtung 72 durch einen koxial zum Piezoaktor 58 angeordneten Ring 74 gebildet, dessen Innendurchmesser sich beim Anlegen einer Betriebsspannung derart verringert, dass er reibfest an der Umfangsfläche des Piezoaktors 58 anliegt.

[0031] Die Stromzufuhr erfolgt über elektrische Zuleitungen 76 und wird ebenfalls vom Steuer- und Regelgerät 34 gesteuert. Im Normalbetrieb ist die Klemmvorrichtung 72 bestromt, so dass der Piezoaktor 58 in seiner Lage fixiert ist. Während Einspritzpausen kann die Klemmvorrichtung 72 jedoch gelöst werden, um temperatur- und druckbedingte Längenänderungen am Piezoaktor 58 auszugleichen und eine dadurch verursachte Beeinträchtigung einer präzisen Öffnungshubbewegung zu vermeiden.

[0032] Die Brennkraftmaschine 10 und die gemäß Fig. 2 ausgebildeten Kraftstoff-Einspritzventile 30 werden gemäß einem Verfahren betrieben, welches als Computerprogramm im Steuer- und Regelgerät 34 abgelegt ist. Das Verfahren wird nun unter Bezugnahme auf die Figuren 3 bis 5 erläutert.

[0033] Würde die Brennkraftmaschine 10 gestartet, wird die Klemmvorrichtung 72 vom Steuer- und Regelgerät 34 so angesteuert, dass durch sie der Piezoaktor 58 gegenüber dem Ventilhaltekörper 40 fixiert wird. Die Ventilfeeder 68, die zuvor dafür gesorgt hat, dass die Ventildichtfläche 46 gegen die Ventilsitzfläche 48 beaufschlagt wird, ist somit wirkungslos.

[0034] Zur Einleitung einer Öffnungshubbewegung des Ventilelements 44 wird nun der Piezoaktor 58 vom Steuer- und Regelgerät 34 bestromt. Dabei wird zunächst ein deutlich überhöhter Strom an den Piezoaktor

58 angelegt. Dies ist in Fig. 3 mit den Bezugszeichen 78 gekennzeichnet. Diese Stromüberhöhung dient dazu, eine sehr kurze Schaltzeit des Piezoaktors 58 zu erreichen. Die Realisierung erfolgt durch eine kapazitive Elektronik mit Einschaltspannungen bis 90 Volt.

[0035] Durch die Bestromung des Piezoaktors 58 verkürzt sich dieser. Da das Ventilelement 44 starr am unteren Ende des Piezoaktors 58 befestigt ist, wird das Ventilelement 44 in Fig. 2 nach oben gezogen, so dass die Ventildichtfläche 46 von der Ventilsitzfläche 48 abhebt. Dieser Vorgang ist in Fig. 4 mit dem Bezugszeichen 80 bezeichnet.

[0036] Sobald das Ventilelement 44 seine offene Endstellung erreicht hat, wird die Bestromung des Piezoaktors 58 impulsartig und wiederholt unterbrochen. Dies ist in Fig. 3 mit dem Bezugszeichen 82 bezeichnet. Durch diese hochfrequente und impulsartige Unterbrechung des Steuerstroms des Piezoaktors 58 führt dieser eine hochfrequente Schwingung aus, was in Fig. 4 durch das Bezugszeichen 84 bezeichnet ist. Die Impulsfrequenz der Bestromung 82 ist dabei so gewählt, dass die Schwingungsfrequenz, welche sich am Piezoaktor 58 und dem mit diesem verbundenen Ventilelement 44 einstellt, im Ultraschallbereich liegt.

[0037] Der Hub des Ventilelements 44 kann dadurch optimiert werden, dass die Schwingungsfrequenz des Ventilelements 44 im Bereich der Resonanzfrequenz des aus Ventilelement 44 und Piezoaktor 58 bestehenden Systems liegt. Obwohl, wie aus Fig. 3 ersichtlich ist, die Bestromung des Piezoaktors 58 zwischen den einzelnen Stromimpulsen null ist, schließt das Ventilelement 44 aufgrund der Trägheit des Piezoaktors 58 nicht, sondern führt insgesamt nur eine Schwingbewegung in seiner Öffnungslage durch.

[0038] Da aufgrund der Schwingbewegung des Ventilelements 44 während der Öffnungsdauer des Ventilelements 44 der zur Verfügung stehende Querschnitt zwischen der Ventilfläche 46 und der Ventilsitzfläche 48 etwas geringer ist als ohne diese Schwingbewegung, muss die Ventilöffnungszeit jedoch etwas verlängert werden, um die gleiche Kraftstoffmenge durch das Kraftstoff-Einspritzventil 30 einspritzen zu können. Das Ende der Einspritzdauer ohne Schwingungen des Ventilelements 44 ist in den Fig. 4 und 5 durch eine gestrichelte Linie dargestellt, welche das Bezugszeichen 86 trägt. Das Ende der Einspritzdauer mit den hochfrequenten Schwingungen des Ventilelements 44 ist durch eine durchgezogene Linie 88 dargestellt. Die Menge des eingespritzten Kraftstoffs ist in Fig. 5 durch eine horizontale Linie 90 dargestellt. Der Verlauf der vom Kraftstoff-Einspritzventil 30 in den Brennraum 32 eingespritzten Kraftstoffmenge ist linear, wie aus Fig. 5 ersichtlich ist. Bei vorhandener Schwingungsüberlagerung am Ventilelement 44 ist der Verlauf etwas flacher (Bezugszeichen 89) als in jenem Fall, in dem dem Ventilelement 44 keine hochfrequente Schwingung aufgewungen wird (Bezugszeichen 91).

[0039] Die durchschnittliche, für die Öffnung des Ven-

tilelements 44 erforderliche Stromstärke ist in Fig. 3 strichpunktirt dargestellt und trägt das Bezugszeichen 92. Wie aus Fig. 3 ersichtlich ist, ist diese ungefähr halb so hoch wie die ohne die Schwingungserzeugung des Ventilelements 44 erforderliche Stromstärke. Für ein Offenhalten des Kraftstoff-Einspritzventils 30 ist somit insgesamt weniger Strom erforderlich.

[0040] Wenn die gewünschte Kraftstoffmenge eingespritzt ist, wird die Bestromung des Piezoaktors 58 vom Steuer- und Regelgerät 34 beendet. Dies ist Fig. 3 mit dem Bezugszeichen 94 gekennzeichnet. Die entsprechende Schließbewegung des Ventilelements 44, bei welcher sich die Ventildichtfläche 46 wieder der Ventilsitzfläche 48 nähert, bis sie an dieser anliegt, trägt in Fig. 4 das Bezugszeichen 96. Die maximale, für eine Erzeugung von Schwingungen des Ventilelements 44 zur Verfügung stehende Zeitdauer trägt in Fig. 4 das Bezugszeichen 98. Sie ist etwas kürzer als die Öffnungsdauer des Ventilelements 44, da zu Beginn der Öffnung des Ventilelements 44 gewartet werden muss, bis sich dieses in seiner geöffneten Endstellung befindet. Hierdurch soll verhindert werden, dass das Öffnen des Ventilelements 44 verschleppt wird.

[0041] Durch die Erzeugung der hochfrequenten Schwingungen am Ventilelement 44 wird auch die zwischen der Ventildichtfläche 46 und der Ventilsitzfläche 48 vorhandene Flüssigkeitssäule zu Schwingungen angeregt. Diese Schwingungen werden hierdurch an den Bereich der Austrittsöffnungen 50 übertragen. Die Erzeugung von Schwingungen am Ventilelement 44 eines Kraftstoff-Einspritzventils 30 kann dabei grundsätzlich auf zwei unterschiedliche Arten eingesetzt werden: Entweder können solche Schwingungen regelmäßig bei Einspritzungen eines Kraftstoff-Einspritzventils 30 erzeugt werden, so dass verhindert wird, dass sich im Bereich der Austrittsöffnungen 50 oder in diesen selbst Ablagerungen überhaupt bilden können. Alternativ hierzu ist es aber auch möglich, dass die Schwingungen am Ventilelement 44 in größeren zeitlichen Abständen erzeugt werden, so dass bereits vorhandene Ablagerungen in den Austrittsöffnungen 50 oder um diese herum gelöst werden. Dabei ist es auf folgende Art und Weise möglich, das Vorhandensein von Ablagerungen zu detektieren:

Bei der Brennkraftmaschine 10 ist standardmäßig eine sogenannte Zylindergleichstellung vorhanden. Dies bedeutet, dass Drehmomentunterschiede der einzelnen Zylinder 33a, 33b bzw. 33c der Brennkraftmaschine 10 aufgrund unterschiedlicher Verbrennung in den ihnen zugeordneten Brennräumen 32a, 32b bzw. 32c erkannt werden können. Wird nun festgestellt, dass das Drehmoment beispielsweise des Zylinders 33a von dem des Zylinders 33b mehr als zulässig abweicht, kann dies daher rühren, dass der Querschnitt der Austrittsöffnungen 50 des Kraftstoff-Einspritzventils 30a des Zylinders 33a aufgrund von Ablagerungen verengt ist, so

dass in den entsprechenden Brennraum 32a weniger Kraftstoff gelangt.

[0042] Daher werden die Ventilelemente 44 des entsprechenden Kraftstoff-Einspritzventils 30a vom Steuer- und Regelgerät 34 in diesem Fall mit der oben beschriebenen hochfrequenten Schwingung beaufschlagt. Diese Beaufschlagung erfolgt über eine Zeitdauer, welche mehrere Einspritzungen der Kraftstoff-Einspritzventile 30a und 30b umfasst. Nach dem Ende dieser Zeitdauer wird die Beaufschlagung der Ventilelemente 44 mit hochfrequenten Schwingungen beendet und es werden nochmals die Drehmomente der besagten Zylinder 33a und 33b verglichen.

[0043] Wenn die Abweichung nun in einem zulässigen Bereich liegt, bedeutet dies, dass vorhandene Ablagerungen im Bereich der Austrittsöffnungen 50 abgelöst worden sind. Andernfalls ist es möglich, dass noch nicht alle Ablagerungen entfernt wurden. Daher wird dann nochmals für eine bestimmte Zeitdauer, welche wiederum mehrere Einspritzungen umfasst, das Ventilelement 44 der Kraftstoff-Einspritzventile 30a und 30b mit der hochfrequenten Schwingung beaufschlagt (die Beaufschlagung erfolgt natürlich jeweils nur während der Öffnungsphasen der Kraftstoff-Einspritzventile). Anschließend werden wieder die Drehmomente der Zylinder 33a und 33b verglichen und festgestellt, ob die Abweichung der Drehmomente nun innerhalb der zulässigen Grenzen liegt. Dieser Vorgang wird mehrmals wiederholt.

[0044] Die Anzahl der Durchläufe ist jedoch auf einen maximalen Wert begrenzt. Wird dieser erreicht und/oder überschritten, kann davon ausgegangen werden, dass entweder die Ablagerungen durch die hochfrequenten Schwingungen des Ventilelements 44 nicht gelöst werden können, oder dass die Drehmomentunterschiede zwischen den Zylindern 33a und 33b eine andere Ursache haben. In diesem Fall wird vom Steuer- und Regelgerät 34 eine Fehlermeldung ausgegeben, was beispielsweise zum Aufleuchten eines Warnlichts am Armaturenbrett eines Kraftfahrzeugs führt, in das die Brennkraftmaschine 10 eingebaut ist. Außerdem erfolgt ein Eintrag in einen Fehlerspeicher im Steuer- und Regelgerät 34, welcher im Wartungsfall beispielsweise von einem Diagnosegerät ausgelesen werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (10), insbesondere mit Direkteinspritzung, bei dem der Kraftstoff zu mindestens einer Kraftstoff-Einspritzeinrichtung (30) gefördert wird und von dieser in mindestens einen Brennraum (32) gelangt, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein zu mindestens einer Austrittsöffnung (50) der Kraftstoff-Einspritzeinrichtung (30) benachbarter Bereich (44) mindestens zeitweise in eine hochfre-

quente Schwingung (84) versetzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Ventilelement (44) der Kraftstoff-Einspritzeinrichtung (30) mindestens zeitweise in eine hochfrequente Schwingung (84) versetzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ventilelement (44) während mindestens eines Bereichs (98) mindestens einer Öffnungsphase in die hochfrequente Schwingung (84) versetzt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ventilelement (44) durch einen Piezoaktor (58) betätigt und die hochfrequente Schwingung (84) durch eine hochfrequente Überlagerung der Steuer Spannung oder des Steuerstroms (82) des Piezoaktors (58) erzeugt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine (10) die Drehmomente und/oder die Lambdawerte der einzelnen Zylinder (33) bestimmt und verglichen werden, um eine mögliche Verschmutzung mindestens einer Austrittsöffnung (50) der Kraftstoff-Einspritzeinrichtungen (30) zu erkennen, und dass dann, wenn eine maximal zulässige Abweichung des Drehmoments und/oder des Lambdawerts mindestens eines Zylinders (33a) von mindestens einem anderen Zylinder (33b) erreicht und/oder überschritten wird, mindestens ein zu mindestens einer Austrittsöffnung (50) der Kraftstoff-Einspritzeinrichtung (30) benachbarter Bereich (44) mindestens zeitweise in eine hochfrequente Schwingung (84) versetzt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Ende der Zeitdauer, während der mindestens ein zu den Austrittsöffnungen (50) benachbarter Bereich (44) der Kraftstoff-Einspritzeinrichtungen (30) zeitweise in eine hochfrequente Schwingung (84) versetzt wurde, nochmals die Drehmomente und/oder die Lambdawerte der einzelnen Zylinder (33) bestimmt und verglichen werden, um zu erkennen, ob eine mögliche Verschmutzung der Austrittsöffnungen (50) der Einspritzventile (30) entfernt wurde, und dass dann, wenn eine maximal zulässige Abweichung des Drehmoments und/oder des Lambdawerts mindestens eines Zylinders (33a) von mindestens einem anderen Zylinder (33b) erreicht und/oder überschritten wird, mindestens ein zu mindestens einer Austrittsöffnung (50) der Kraftstoff-Einspritzeinrichtung (30) benachbarter Bereich (44) mindestens zeitweise in eine hochfrequente Schwingung (84)

versetzt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** dann, wenn eine maximale Anzahl von Durchläufen des Verfahrens nach Anspruch 6 erreicht und/oder überschritten wird, eine Fehlermeldung ausgegeben und/oder in einem Speicher abgelegt wird. 5
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die hochfrequente Schwingung (84) eine Frequenz aufweist, welche im Ultraschallbereich liegt. 10
9. Computerprogramm, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche geeignet ist, wenn es auf einem Computer ausgeführt wird. 15
10. Computerprogramm nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** es auf einem Speicher, insbesondere auf einem Flash-Memory, abgespeichert ist. 20
11. Steuer- und/oder Regelgerät (34) zur Steuerung und/oder Regelung mindestens einer Funktion einer Brennkraftmaschine (10), **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen Speicher umfasst, auf dem ein Computerprogramm nach einem der Ansprüche 9 oder 10 abgespeichert ist. 25
30

35

40

45

50

55

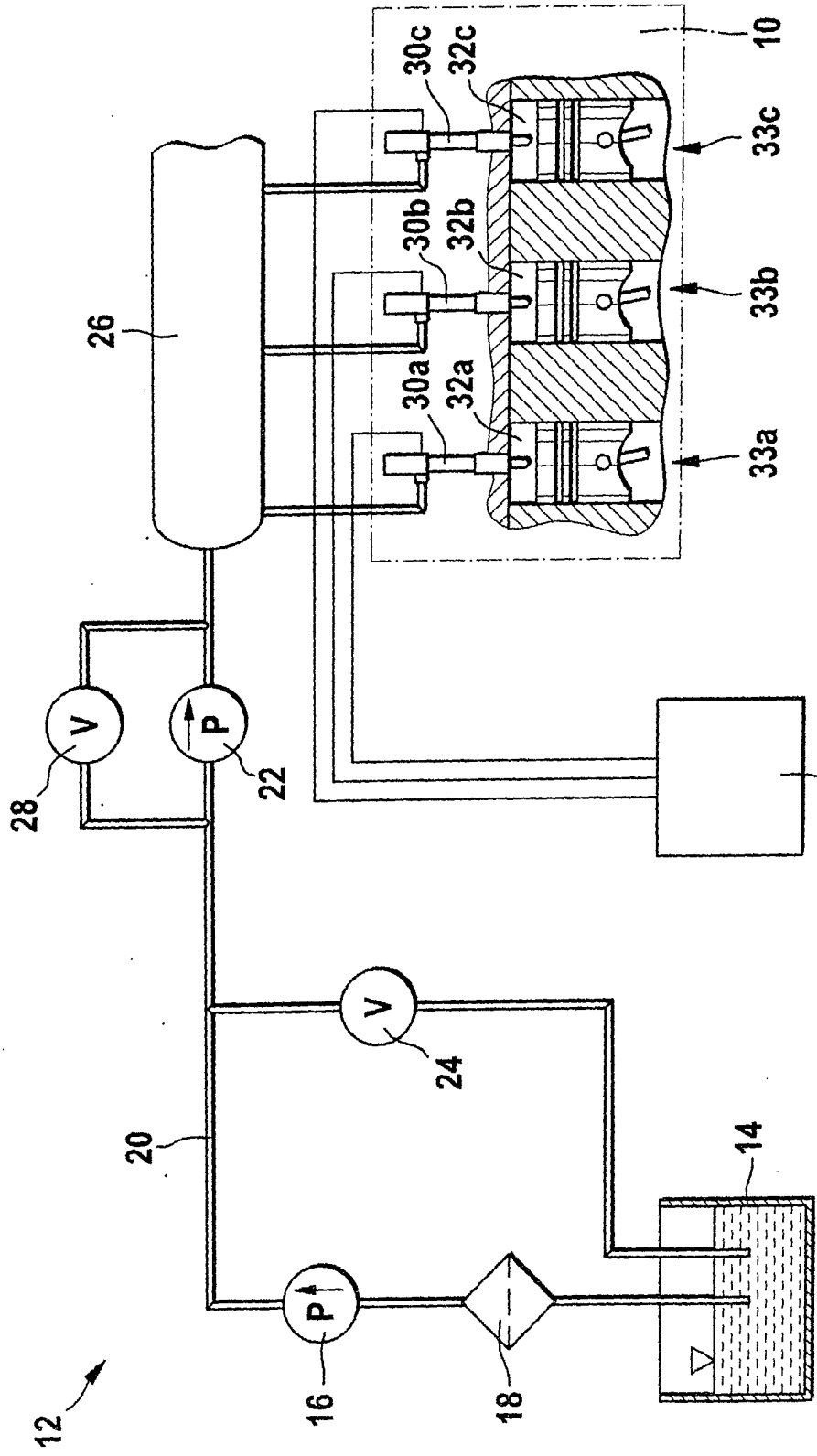


Fig. 1

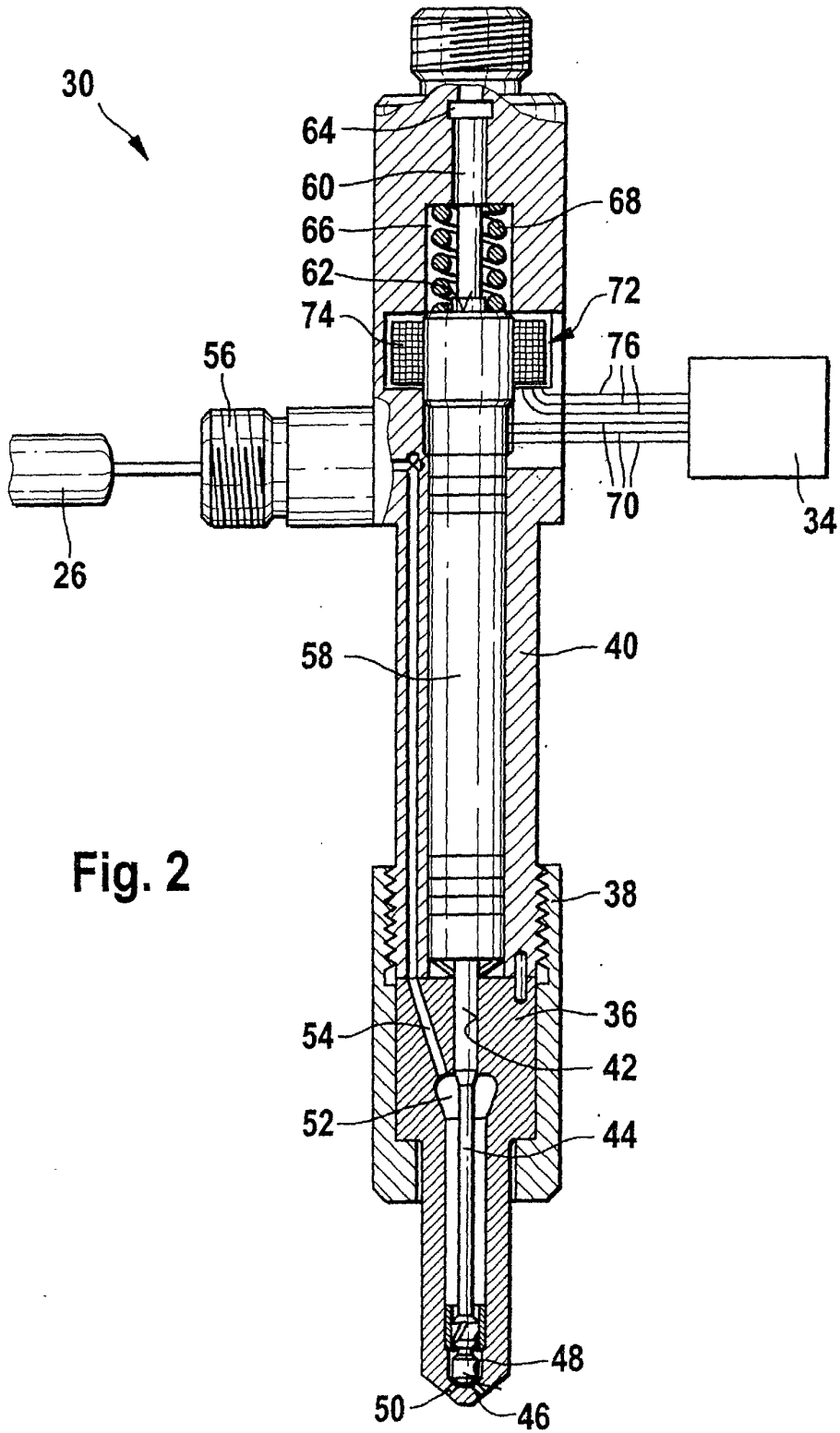


Fig. 2

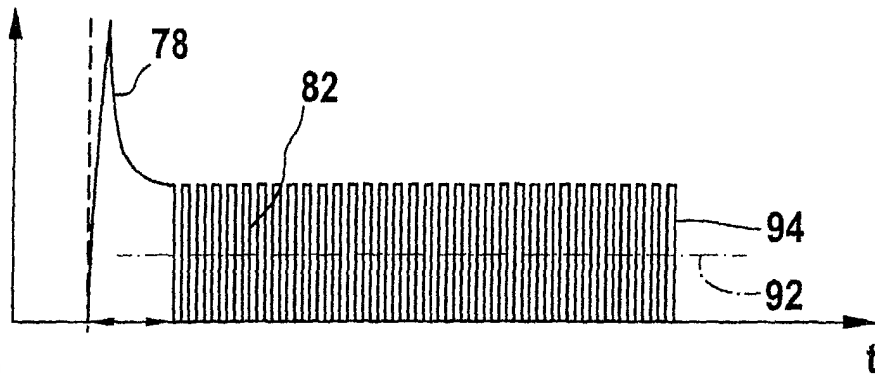


Fig. 3

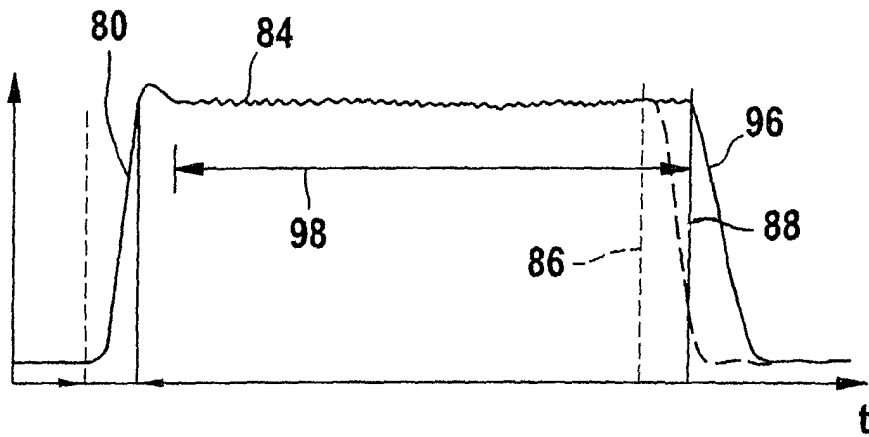


Fig. 4

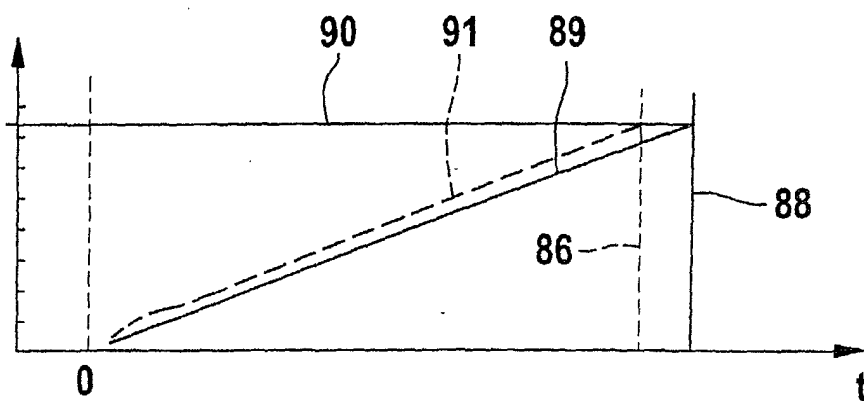


Fig. 5