



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
11.02.2009 Patentblatt 2009/07

(51) Int Cl.:
F02D 41/20 (2006.01) **F02D 41/24** (2006.01)
F02D 41/12 (2006.01) **F02D 41/12** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08104338.2**

(22) Anmeldetag: **10.06.2008**

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

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

(72) Erfinder:
• **Sutter, Kai**
70178 Stuttgart (DE)
• **Becker, Oliver**
69198 Schriessheim (DE)

(30) Priorität: **23.07.2007 DE 102007034188**

(54) **Verfahren zum Betreiben eines piezoelektrisch betätigten Einspritzventils**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Einspritzventils (10), insbesondere eines Kraftstoffeinspritzventils einer Brennkraftmaschine, bei dem ein als piezoelektrisches Element ausgebildeter Aktor (12) des Einspritzventils (10) mit einer Ansteuerspannung (U) beaufschlagbar ist, um eine Einspritzung von, dem Einspritzventil (10) über ein Zufuhrsystem zugeführtes Fluid, insbesondere Kraftstoff, zu bewirken.

Erfindungsgemäß wird der Aktor (12) in einer Testansteuerung mit einer vorgebbaren Testspannung beaufschlagt, und ein in dem Zufuhrsystem herrschender Fluiddruck wird zumindest während der Testansteuerung erfasst, um aus der Testspannung und dem erfassten Fluiddruck Informationen über einen Betriebszustand des Einspritzventils (10) und/oder des Aktors (12) abzuleiten.

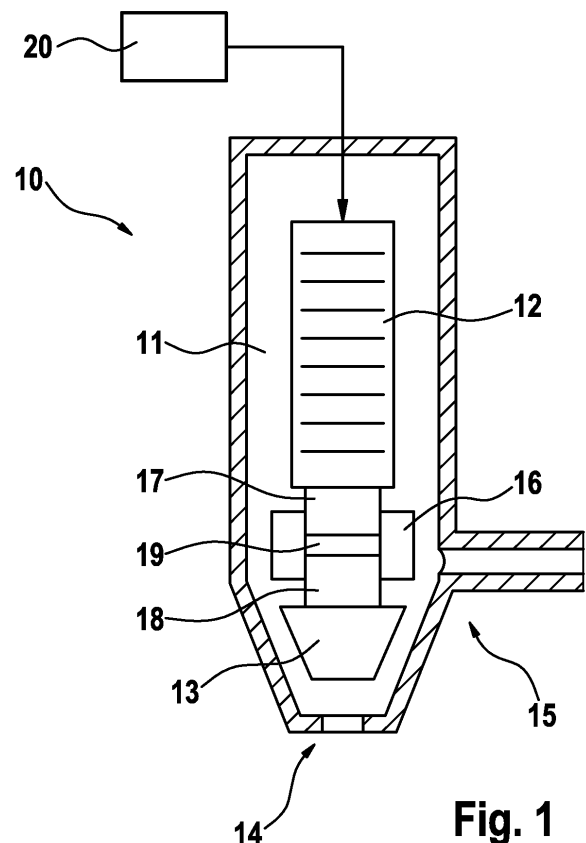


Fig. 1

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Einspritzventils, insbesondere eines Kraftstoffeinspritzventils einer Brennkraftmaschine, bei dem ein als piezoelektrisches Element ausgebildeter Aktor des Einspritzventils mit einer Ansteuerspannung beaufschlagbar ist, um eine Einspritzung von dem Einspritzventil über ein Zufuhrsystem zugeführtes Fluid, insbesondere Kraftstoff, zu bewirken.

[0002] Die Erfindung betrifft ferner ein Computerprogramm zur Ausführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens sowie ein Steuergerät für ein Einspritzventil.

[0003] Betriebsverfahren und Steuergeräte dieser Art sind bekannt und werden insbesondere bei modernen Diesel- und Ottomotoren eingesetzt, um z.B. direkt eine Ventildadel des Einspritzventils zwischen verschiedenen Arbeitspositionen hin- und herzubewegen und damit die Einspritzung von Kraftstoff zu steuern. Die Verwendung piezoelektrischer Aktoren ist hierbei insbesondere aufgrund der hohen dynamischen Anforderungen bei der Bewegung der Ventildadel vorteilhaft.

[0004] Allerdings bleiben die mechanischen und elektrischen Eigenschaften der verwendeten piezoelektrischen Aktoren nicht über deren Lebensdauer konstant. Sowohl ein Aktorhub und die Steifigkeit als auch die elektrische Kapazität des piezoelektrischen Aktors ändern sich über die Lebensdauer. Diese Änderungen können im Betrieb ohne aufwändige Messtechnik nicht direkt erfasst und damit auch nicht kompensiert werden. Eine Folge hiervon sind Fehler der eingespritzten Kraftstoffmenge.

[0005] Auch ein Verschleiß von gegebenenfalls vorhandenen weiteren Komponenten, insbesondere hydraulischen Komponenten, die Bestandteil einer Ventildadel und den piezoelektrischen Aktor umfassenden Wirkungskette sind, kann sich entsprechend negativ auf die Präzision der eingespritzten Kraftstoffmenge auswirken.

Offenbarung der Erfindung

[0006] Dementsprechend ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Betriebsverfahren und ein Steuergerät der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, dass Informationen über einen Betriebs- bzw. Verschleißzustand der beteiligten Komponenten wenig aufwändig erhalten werden, und dass eine präzise Kraftstoffeinspritzung über die gesamte Lebensdauer der Komponenten des Einspritzventils möglich ist.

[0007] Diese Aufgabe wird bei einem Betriebsverfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Aktor in einer Testansteuerung mit einer vorgebbaren Testspannung beaufschlagt wird, und dass ein in dem Zufuhrsystem herrschender Fluid-

wird, um aus der Testspannung und dem erfassten Fluiddruck Informationen über einen Betriebszustand des Einspritzventils und/oder des Aktors abzuleiten.

[0008] Erfindungsgemäß ist erkannt worden, dass aus Änderungen des Fluiddrucks, die sich bei derartigen Testansteuerungen ergeben, vorteilhaft auf einen Betriebs- und/oder Verschleißzustand des piezoelektrischen Aktors oder weiterer Komponenten des Einspritzventils geschlossen werden kann. Dadurch erübrigt sich vorteilhaft die Vorsehung aufwändiger separater Messtechnik zur Erfassung von Betriebs- bzw. Verschleißzuständen des Einspritzventils. Prinzipiell reicht zur Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens die Auswertung von zwei Fluiddruckmesswerten aus, die bevorzugt direkt vor und nach der Testansteuerung ermittelt werden. Vorteilhaft kann jedoch auch eine größere Anzahl von Messwerten für den Fluiddruck während der Testansteuerung erhalten werden; ein auf diese Weise ermittelter Zeitverlauf des Fluiddrucks bei der Testansteuerung ermöglicht eine ganz besonders präzise Analyse des Betriebs- und/oder Verschleißzustands.

[0009] Das erfindungsgemäße Prinzip beruht darauf, dass aus einer Änderung des Fluiddrucks während der Testansteuerung auf eine dem Zufuhrsystem durch das Einspritzventil entnommene, d.h. z.B. eingespritzte, Kraftstoffmenge geschlossen wird. Ebenso kann aus dem Ausbleiben einer eine Mindestgrenze überschreitenden Änderung des Fluiddrucks während der Testansteuerung darauf geschlossen werden, dass unter Beaufschlagung mit der Testspannung keine hinreichende Ansteuerung der die Einspritzung steuernden Wirkungskette erfolgt ist.

[0010] Besonders vorteilhaft werden einer Erfindungsvariante zufolge mehrere Testansteuerungen mit jeweils unterschiedlichen Werten für die Testspannung durchgeführt und die sich hierbei ergebenden Änderungen des erfassten Fluiddrucks ermittelt. Hierdurch ist es beispielsweise möglich, diejenige Testspannung zu bestimmen, welche bei einem Einspritzventil aufgrund seines momentanen Verschleißzustandes eingestellt werden muss, um überhaupt eine Einspritzung zu bewirken. Bevorzugt werden die mehreren Testansteuerungen jeweils über die selbe Ansteuerzeit vorgenommen, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

[0011] Ganz besonders vorteilhaft kann durch eine oder mehrere Testansteuerungen erfindungsgemäß eine minimale bzw. maximale Ansteuerspannung des Aktors ermittelt werden, bei der eine Einspritzung stattfindet. Das tatsächliche Einsetzen einer Einspritzung aufgrund der Testansteuerung kann durch einen entsprechenden Druckabfall des erfindungsgemäß während der Testansteuerung erfassten Fluiddrucks festgestellt werden. Je nach Ausbildung der Wirkungskette des Einspritzventils kann sowohl eine Verminderung der Ansteuerspannung als auch eine Vergrößerung der Ansteuerspannung des Aktors erforderlich sein, um eine Einspritzung auszulösen. Die erfindungsgemäß entsprechend ermittelte minimale bzw. maximale Ansteuerspannung

wird auch als "Spannungsbedarf" des Einspritzventils bzw. Aktors bezeichnet.

[0012] Insbesondere bei denjenigen Erfindungsvarianten, die eine Verwendung des Einspritzventils zur Einspritzung von Kraftstoff in einen Brennraum eines Zylinders einer Brennkraftmaschine vorsehen, kann die erfindungsgemäße Testansteuerung vorteilhaft periodisch durchgeführt werden, bevorzugt auch in einem Normalbetrieb der Brennkraftmaschine, um dementsprechend über die gesamte Lebensdauer des Einspritzventils aktuelle Betriebs- bzw. Verschleißinformationen bereitzustellen. Hierdurch ist vorteilhaft gewährleistet, dass die Einspritzparameter stets an den aktuellen Verschleißzustand des Einspritzventils angepasst werden können, wodurch die Einhaltung gesetzlich vorgeschriebener Emissionsgrenzwerte, der Leistungsfähigkeit der Brennkraftmaschine und die Beibehaltung eines normalen Betriebsgeräusches der Brennkraftmaschine über die gesamte Lebensdauer begünstigt wird.

[0013] Ein weiterer ganz besonders vorteilhafter Aspekt der erfindungsgemäßen Testansteuerungen besteht darin, dass sie auch außerhalb herkömmlicher Ansteuerzeiten des Einspritzventils bzw. seines Aktors vorgenommen werden können, wodurch insbesondere ein Normalbetrieb der Brennkraftmaschine parallel zu dem erfindungsgemäßen Verfahren durchführbar ist.

[0014] Um den Betrieb der Brennkraftmaschine nicht zu stören, kann bei einer weiteren vorteilhaften Erfindungsvariante vorgesehen sein, dass die Testansteuerung(en) in einem nicht drehmomentwirksamen Bereich eines Arbeitszyklus des Zylinders der Brennkraftmaschine und/oder in einem Schubbetrieb der Brennkraftmaschine durchgeführt wird bzw. werden. Beispielsweise ist es möglich, die erfindungsgemäßen Testansteuerungen in einen solchen Zeitbereich eines Arbeitszyklus des Zylinders zu verlegen, in dem keine Haupteinspritzung, sondern beispielsweise eine verhältnismäßig späte Nebeneinspritzung abgesetzt wird, welche einen entsprechend geringen Momentenwirkungsgrad aufweist. Auch während einer Leerlaufbetriebsart der Brennkraftmaschine ist das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhaft anwendbar.

[0015] Bei einer weiteren sehr vorteilhaften Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei der der Aktor über mindestens eine hydraulische Komponente, insbesondere ein Schaltventil, auf eine Ventalnadel des Einspritzventils wirkt, um eine Einspritzung zu bewirken, ist vorteilhaft vorgesehen, dass ein Startwert für die Testspannung so gewählt wird, dass sich bei der Ansteuerung des Aktors mit dem Startwert für die Testspannung keine Zustandsänderung der hydraulischen Komponente, insbesondere des Schaltventils, derart ergibt, dass eine Einspritzung stattfindet. Durch die vorstehend beschriebene Wahl des Startwerts für die Testspannung können die erfindungsgemäßen Testansteuerungen unter Ausnutzung des Betriebsverhaltens der beteiligten hydraulischen Komponenten vorteilhaft so durchgeführt werden, dass nicht ständig Einspritzungen aufgrund der

Testansteuerungen bewirkt werden, wodurch ein Betrieb der Brennkraftmaschine nur minimal beeinträchtigt wird. Beispielsweise kann die Testspannung ausgehend von dem erfindungsgemäß gewählten Startwert im Rahmen mehrerer Testansteuerungen sukzessive erhöht werden, so dass nach einigen Testansteuerungen hinreichend viele Informationen bzw. Fluiddruckmesswerte vorliegen, um einen Betriebs- bzw. Verschleißzustand des Einspritzventils oder dessen Komponenten hinreichend genau beurteilen zu können.

[0016] Insbesondere bei dem Einsatz eines Schaltventils, auf das der piezoelektrische Aktor wirkt, ist vorteilhaft mindestens ein Betriebsbereich bzw. ein Spannungsbereich für die Testspannung gegeben, in dem Testansteuerungen zwar noch nicht zu einer Einspritzung führen, jedoch beispielsweise eine messtechnisch erfassbare Änderung, insbesondere Absenkung des Fluiddrucks in dem Zufuhrsystem bewirken. Dabei kann während der Testansteuerung z.B. eine geringe Menge des zugeführten Fluids durch das Schaltventil durchtreten und beispielsweise über einen entsprechenden Rücklauf wieder einem Niederdrucksystem zugeführt werden, ohne dass bereits eine Einspritzung initiiert wird.

[0017] Der erfindungsgemäß ermittelte Spannungsbedarf des Einspritzventils ist für eine präzise Kraftstoffzumessung von besonderer Bedeutung und kann vorteilhaft während der Betriebsdauer des Einspritzventils zur Modifizierung von Ansteuerparametern des Einspritzventils, insbesondere der Ansteuerspannung, verwendet werden, so dass alterungs- bzw. verschleißbedingte Veränderungen in den Betriebseigenschaften des Einspritzventils oder seiner Komponenten kompensiert werden können.

[0018] Ganz besonders vorteilhaft wird der Startwert für die Testspannung in Abhängigkeit des Fluiddrucks und/oder anderer Betriebsgrößen des Einspritzventils gewählt, um die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens in vielen verschiedenen Betriebsarten zu ermöglichen und gleichzeitig zu verhindern, dass eine erste Testansteuerung versehentlich bereits eine Einspritzung bewirkt.

[0019] Von besonderer Bedeutung ist die Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens in Form eines Computerprogramms, das beispielsweise auf einem elektronischen Speichermedium abgespeichert sein kann und in einem erfindungsgemäßen Steuergerät zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen ist.

[0020] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnung verschiedene Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt sind. Dabei können die in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0021] In der Zeichnung zeigt:

- Figur 1 schematisch eine teilweise Schnittdarstellung eines Ausführungsbeispiels eines Kraftstoffeinspritzventils zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 2 eine durch ein Einspritzventil eingespritzte Kraftstoffmenge in Abhängigkeit einer Ansteuerspannung des piezoelektrischen Aktors,
- Figur 3 ein vereinfachtes Flussdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens, und
- Figur 4 den Verlauf verschiedener Betriebsgrößen eines erfindungsgemäß betriebenen Kraftstoffeinspritzventils über der Ansteuerspannung des piezoelektrischen Aktors.

Ausführungsformen der Erfindung

[0022] In der Figur 1 ist ein als Kraftstoffeinspritzventil 10 ausgebildetes Einspritzventil einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs dargestellt, das mit einem piezoelektrischen Aktor 12 versehen ist. Der piezoelektrische Aktor 12 wird - wie in Figur 1 durch den Verbindungspfeil angedeutet - von einem Steuergerät 20 angesteuert. Das Steuergerät 20 verfügt über ein nicht abgebildetes elektronisches Speichermedium, in dem ein Computerprogramm zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens gespeichert ist.

[0023] Das Kraftstoffeinspritzventil 10 weist ferner eine Ventalnadel 13 auf, die auf einem Ventilsitz 14 im Inneren des Gehäuses des Kraftstoffeinspritzventils 10 aufsitzen kann. Ist die Ventalnadel 13 von dem Ventilsitz 14 abgehoben, so ist das Kraftstoffeinspritzventil 10 geöffnet und es wird Kraftstoff eingespritzt. Dieser Zustand ist in der Figur 1 dargestellt. Ein vollständig geöffneter Zustand des Kraftstoffeinspritzventils 10 ist dadurch gekennzeichnet, dass die Ventalnadel 13 an einem nicht dargestellten Nadelhubanschlag anliegt, der eine weitere Bewegung der Ventalnadel 13 weg von ihrem Ventilsitz 14, d.h. auf den Aktor 12 zu, verhindert. Sitzt die Ventalnadel 13 auf dem Ventilsitz 14 auf, so ist das Kraftstoffeinspritzventil 10 geschlossen. D.h., der gesamte, bei der Abbildung nach Figur 1 vertikal verlaufende, Hubweg, den die Ventalnadel 13 zurücklegen kann, ist einerseits durch den Ventilsitz 14 (Schließposition) und andererseits durch den Nadelhubanschlag (Öffnungsposition) begrenzt.

[0024] Der Übergang des Kraftstoffeinspritzventils 10 von dem geschlossenen in den geöffneten Zustand und umgekehrt wird mithilfe des piezoelektrischen Aktors 12 bewirkt. Hierzu wird eine nachfolgend auch als Ansteu-

erspannung U bezeichnete elektrische Spannung an den Aktor 12 angelegt, die eine Längenänderung eines in dem Aktor 12 angeordneten Piezostapels hervorruft, welche ihrerseits zum Öffnen beziehungsweise Schließen des Kraftstoffeinspritzventils 10 ausgenutzt wird.

[0025] Das Kraftstoffeinspritzventil 10 weist ferner einen hydraulischen Koppler 15 auf. Der hydraulische Koppler 15 ist innerhalb des Kraftstoffeinspritzventils 10 angeordnet und weist ein Kopplergehäuse 16 auf, in dem zwei Kolben 17, 18 geführt sind. Der Kolben 17 ist mit dem Aktor 12 und der Kolben 18 ist mit der Ventalnadel 13 verbunden. Zwischen den beiden Kolben 17, 18 ist ein Volumen 19 eingeschlossen, das die Übertragung der von dem Aktor 12 ausgeübten Kraft auf die Ventalnadel 13 bewerkstelligt.

[0026] Der Koppler 15 ist von unter Druck stehendem Kraftstoff 11 umgeben, der dem Kraftstoffeinspritzventil 10 durch ein nicht dargestelltes Zufuhrsystem zugeführt wird. Das Zufuhrsystem kann beispielsweise einen auch als Rail bezeichneten Kraftstoff-Druckspeicher enthalten, über den auch mehrere Kraftstoffeinspritzventile mit unter Druck stehendem Kraftstoff versorgbar sind. Das Volumen 19 des hydraulischen Kopplers 15 ist ebenfalls mit Kraftstoff gefüllt. Über die Führungsspalte zwischen den beiden Kolben 17, 18 und dem Kopplergehäuse 16 kann sich das Volumen 19 über einen längeren Zeitraum hinweg an die jeweils vorhandene Länge des Aktors 12 anpassen. Bei kurzzeitigen Änderungen der Länge des Aktors 12 bleibt das Volumen 19 jedoch nahezu unverändert und die Änderung der Länge des Aktors 12 wird auf die Ventalnadel 13 übertragen.

[0027] Erfindungsgemäß wird das nachstehend beschriebene Verfahren durchgeführt, um Informationen über einen Betriebs- und/oder Verschleißzustand des Kraftstoffeinspritzventils 10 und dessen Komponenten, insbesondere den Aktor 12, zu erhalten.

[0028] In einem ersten Schritt 100, vgl. Figur 3, wird der piezoelektrische Aktor 12 des in Figur 1 abgebildeten Kraftstoffeinspritzventils 10 ausgehend von seiner Schließposition erfindungsgemäß mit einer vorgebbaren Testspannung beaufschlagt, um eine erfindungsgemäße Testansteuerung durchzuführen.

[0029] Während der Testansteuerung 100 wird darüber hinaus der Kraftstoffdruck des Kraftstoffs 11 messtechnisch erfasst. Dies kann beispielsweise durch eine entsprechende Druckmessung direkt in dem Einspritzventil 10 erfolgen. Bevorzugt wird der Kraftstoffdruck jedoch durch einen Drucksensor erfasst, der direkt in dem nicht abgebildeten Zufuhrsystem vorgesehen ist, beispielsweise im Bereich des Kraftstoff-Druckspeichers selbst, so dass zur Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens keine zusätzlichen Mittel zur Erfassung des Kraftstoffdrucks direkt in dem Kraftstoffeinspritzventil 10 vorgesehen werden müssen.

[0030] Nach der Testansteuerung 100 erfolgt in dem Schritt 110 (Figur 3) des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Auswertung der zuvor erfassten Messwerte für den Kraftstoffdruck. Bei einer besonders einfachen Verfah-

rensvariante kann die Auswertung 110 eine einfache Differenzbildung der erfassten Messwerte für den Kraftstoffdruck direkt vor und nach der Testansteuerung 100 umfassen. Sofern mehr als zwei Messwerte für den Kraftstoffdruck während der Testansteuerung 100 ermittelt worden sind, kann im Rahmen der Auswertung auch eine zeitlichen Verlauf des Kraftstoffdrucks repräsentierende Messwertreihe bereitgestellt und analysiert werden. Die Analyse kann generell den Vergleich der erfassten Daten mit gespeicherten Referenzdaten oder dergleichen umfassen.

[0031] Bevorzugt werden jedoch die erfindungsgemäß erfassten Messwerte für den Kraftstoffdruck daraufhin ausgewertet, ob während der Testansteuerung 100 eine signifikante Änderung, insbesondere Abnahme des Kraftstoffdrucks, aufgetreten ist, die auf eine Entnahme einer entsprechenden Kraftstoffmenge aus dem Zufuhrsystem hindeutet.

[0032] Beispielsweise kann bereits eine geringfügige Verringerung des Kraftstoffdrucks während der Testansteuerung 100 bei dem in Figur 1 abgebildeten Kraftstoffeinspritzventil 10 darauf hindeuten, dass die während der Testansteuerung zur Beaufschlagung des Aktors 12 verwendete Testspannung hinreichend groß gewesen ist, um ein Herausbewegen der Ventilnadel 13 aus der Schließposition zu bewirken. Sofern im Wege der Auswertung 110 jedoch keine hinreichende Verringerung des Kraftstoffdrucks während der Testansteuerung 100 festgestellt wird, kann darauf geschlossen werden, dass die verwendete Testspannung nicht groß genug gewesen ist, um die Entnahme einer Kraftstoffmenge aus dem Zufuhrsystem bzw. sogar eine Einspritzung zu bewirken. Generell kann auf diese Weise unter Durchführung mehrerer Testansteuerungen mit unterschiedlichen Testspannungen der Spannungsbedarf des Einspritzventils 10 bzw. Aktors 12 ermittelt werden, d.h. diejenige Ansteuerspannung, die minimal erforderlich ist, um eine Einspritzung auszulösen.

[0033] Bei dem in Figur 1 abgebildeten Einspritzventil 10 ist wie bereits beschrieben die Schließposition dann erreicht, wenn die Ventilnadel 13 auf dem Ventilsitz 14 aufsitzt, mithin der Aktor 12 seine maximale Länge aufweist und dementsprechend auf eine maximale Ansteuerspannung aufgeladen ist. Der Spannungsbedarf des Aktors 12 kann entsprechend vorliegend als diejenige Spannungsdifferenz angegeben werden, um die die maximale Ansteuerspannung zu verringern ist, damit sich die Ventilnadel 13 von ihrem Ventilsitz 14 wegbewegt und eine Einspritzung stattfinden kann.

[0034] Bei anders konzipierten Einspritzventilen, die z.B. weitere hydraulische Komponenten wie Servo- oder Schaltventile in der Wirkungskette Aktor - Ventilnadel enthalten, kann der Spannungsbedarf entsprechend anders definiert sein; dennoch ist das erfindungsgemäße Prinzip auch auf diese Systeme anwendbar.

[0035] Der bei der Auswertung in dem Schritt 110 (Figur 3) des erfindungsgemäßen Verfahrens ermittelte Spannungsbedarf kann für zukünftige Ansteuerungen,

vgl. Schritt 120, insbesondere zur Anpassung der Ansteuerparameter, verwendet werden. Auf diese Weise ist es möglich, die geforderte Präzision bei der eingespritzten Kraftstoffmenge über die gesamte Lebensdauer des Einspritzventils 10 trotz der auftretenden Verschleißerscheinungen an dem Aktor 12 und den mechanischen bzw. hydraulischen Komponenten 13, 14, 15, .. aufrechtzuerhalten.

[0036] Beispielsweise kann nach der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ein vorgegebener und fest in dem Steuergerät 20 abgespeicherter Standard-Spannungsbedarf für ein neues Einspritzventil 10 um einen Korrekturfaktor modifiziert werden, wobei der Korrekturfaktor in Abhängigkeit des erfindungsgemäß nach einer gewissen Betriebsdauer ermittelten Spannungsbedarfs gebildet wird. Beispielsweise kann der Korrekturfaktor u. a. angeben, um wie viel sich der Spannungsbedarf eines verschlissenen Aktors 12 gegenüber dem Spannungsbedarf eines neuen Aktors 12 vergrößert hat.

[0037] Da die erfindungsgemäß erfasste Änderung des Kraftstoffdrucks in dem Zufuhrsystem bzw. rail in erster Näherung proportional zu der entnommenen bzw. eingespritzten Kraftstoffmenge ist, kann vorteilhaft auch die tatsächlich während der Testansteuerung entnommene Kraftstoffmenge ermittelt werden. Sofern die verwendete Kraftstoffart und

- temperatur ebenfalls bekannt sind, kann zusätzlich der Kompressionsmodul des Kraftstoffs ermittelt und damit die tatsächlich während der Testansteuerung entnommene Kraftstoffmenge noch präziser angegeben werden.

[0038] Besonders vorteilhaft sieht eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vor, dass eine ggf. durch eine Hochdruckpumpe in das rail geförderte Kraftstoffmenge und der sich hierdurch ergebende Druckanstieg in dem rail bei der Auswertung 110 berücksichtigt werden. Bevorzugt werden die erfindungsgemäßen Testansteuerungen nur dann durchgeführt, wenn gerade keine Kraftstoffmenge in das rail gefördert oder anderweitige, ihrerseits Druckänderungen hervorrufende Ansteuerungen usw. durchgeführt werden.

[0039] Das erfindungsgemäße Verfahren wird bevorzugt periodisch, vorteilhaft auch im Normalbetrieb einer das Einspritzventil 10 enthaltenden Brennkraftmaschine (nicht gezeigt), durchgeführt, so dass stets der aktuelle Spannungsbedarf des Einspritzventils 10 bekannt ist. Dieser Spannungsbedarf kann für zukünftige Ansteuerungen des piezoelektrischen Aktors 12 verwendet werden. Auf diese Weise ist vorteilhaft sichergestellt, dass auch unter dem Einfluss von Abnutzungserscheinungen und sonstigen die Betriebsparameter des Einspritzventils 10 beeinflussenden Ereignissen eine präzise Ansteuerung des Einspritzventils 10 möglich ist.

[0040] Eine besonders vorteilhafte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass die Testan-

steuerungen in einem nicht drehmomentwirksamen Bereich eines Arbeitszyklus des Zylinders, beispielsweise bei späten Nebeneinspritzungen, und/oder in einem Schubbetrieb der Brennkraftmaschine durchgeführt werden, so dass das erfindungsgemäße Verfahren parallel zu einem Normalbetrieb der Brennkraftmaschine durchführbar ist ohne diesen zu beeinträchtigen. Der Leerlauf der Brennkraftmaschine kann ebenfalls für die erfindungsgemäßen Testansteuerungen genutzt werden.

[0041] Untersuchungen der Anmelderin haben ergeben, dass sich bei einem Einspritzventil, bei dem die Ventilnadel 13 mittelbar über ein zusätzliches Schaltventil (nicht gezeigt) durch den Aktor 12 bewegt wird, der in Figur 2 gezeigte Verlauf einer eingespritzten Kraftstoffmenge q über der Ansteuerspannung U des Aktors 12 ergibt. Insgesamt sind in Figur 2 fünf verschiedene Kurven dargestellt, wie sie sich bei den unterschiedlichen Raildruckwerten von 200 bar bis 2000 bar beispielhaft ergeben.

[0042] Aus der Figur 2 ist somit beispielsweise ersichtlich, dass bei einem Raildruck von 2000 bar eine eingespritzte Kraftstoffmenge stark ansteigt, sobald die Ansteuerspannung U einen Wert von 125 Volt überschreitet. Bei einer derartigen Ansteuerspannung von 125 Volt wird demnach das Schaltventil erstmals hinreichend weit von dem Aktor 12 aus einer ersten Ruhelage herausbewegt, um eine Einspritzung zu bewirken. D.h., gemäß Figur 2 entspricht der Spannungsbedarf des untersuchten Einspritzventils bei 2000 bar 125 V.

[0043] Um den von dem Schaubild abweichenden tatsächlichen Spannungsbedarf eines abgenutzten Einspritzventils zu ermitteln, wird das erfindungsgemäße Verfahren wie nachfolgend beschrieben durchgeführt.

[0044] Ausgehend von einem Startwert für die Testspannung werden nacheinander mehrere Testansteuerungen 100 (Figur 3) durchgeführt, wobei die Testspannung schrittweise erhöht wird. Der Startwert für die Testspannung ist unter Berücksichtigung des momentanen Raildrucks erfindungsgemäß so gewählt, dass sich bei der Ansteuerung des Aktors 12 mit dem Startwert nicht bereits eine Einspritzung ergibt. In der Praxis wird der Startwert daher üblicherweise deutlich niedriger gewählt als der Standard-Spannungsbedarf für ein entsprechendes neues Einspritzventil. Vorliegend kann der Startwert beispielsweise zu 80 V gewählt sein. Entsprechend sind bei einem geringeren Raildruck von z.B. 800 bar kleinere Startwerte zu wählen, z.B. 50 Volt, usw.

[0045] Solange bei den vorstehend beschriebenen Testansteuerungen keine signifikante Druckänderung des Kraftstoffs ermittelt werden kann, kann davon ausgegangen werden, dass kein Kraftstoff aus dem Rail entnommen worden ist. Erst wenn sich eine vorgebbare Druckänderung des Kraftstoffs in dem Rail zeigt, die z.B. korrespondiert mit einer Kraftstoffmenge, die ein neues Einspritzventil bei einer Ansteuerspannung von etwa 125 V einspritzt, wird auf ein ordnungsgemäßes Öffnen des Einspritzventils geschlossen.

[0046] Anschließend kann der auf diese Weise ermit-

telte aktuelle Spannungsbedarf für den gegebenen Raildruck von 2000 bar gespeichert und zur Modifikation von zukünftigen Ansteuerungen verwendet werden. Bei einem stark abgenutzten Einspritzventil kann der tatsächliche Spannungsbedarf für einen Raildruck von 2000 bar beispielsweise bei 140 V oder mehr liegen, so dass eine Einspritzung nur mit einer entsprechend hohen Ansteuerspannung erreicht werden kann. Von einer z.B. ebenfalls durch das Steuergerät 20 (Figur 1) realisierten Motorsteuerung vorgegebene Sollwerte für die Ansteuerspannung U , die sich auf ein neues, nicht abgenutztes Einspritzventil beziehen, können unter Kenntnis des erfindungsgemäß ermittelten tatsächlichen Spannungsbedarfs vorteilhaft modifiziert werden, um die entsprechenden Alterungseffekte zu kompensieren. Beispielsweise kann für den Raildruck von 2000 bar ein Korrekturfaktor aus dem Quotienten des tatsächlichen Spannungsbedarfs von 140 V und dem Standard-Spannungsbedarf von 125 V gebildet werden, mit dem die vorgegebenen Sollwerte für die Ansteuerspannung U fortan zu multiplizieren sind, um dem Verschleiß des Einspritzventils Rechnung zu tragen.

[0047] Für weitere Raildruckwerte kann der tatsächliche Spannungsbedarf analog ermittelt und verwendet werden, solange sich eine hinreichend deutliche Änderung der eingespritzten Kraftstoffmenge q über der Ansteuer- bzw. Testspannung U ergibt.

[0048] Figur 4 zeigt den Verlauf verschiedener Betriebsgrößen eines weiteren erfindungsgemäß betriebenen Kraftstoffeinspritzventils über der Ansteuerspannung U eines piezoelektrischen Aktors 12. Das vorliegend betrachtete Kraftstoffeinspritzventil weist einen Stellraum auf, der über ein durch den Aktor 12 betätigtes Schalt- bzw. Servoventil mit Kraftstoff aus einem Zufuhrsystem mit einem Rail versorgbar ist, um eine Ventilnadel 13 zu bewegen.

[0049] Wie aus Figur 4 ersichtlich, ergibt sich bei Überschreiten der Ansteuerspannung U_1 eine erste Änderung ΔP des erfindungsgemäß ermittelten Raildrucks P . Diese Änderung ΔP beruht darauf, dass unter Beaufschlagung durch den piezoelektrischen Aktor 12 das Schaltventil geringfügig aus seiner ersten Betriebsposition, die dem Schließzustand des Einspritzventils entspricht, herausbewegt wird, so dass Kraftstoff aus dem Rail in den zuvor von dem Schaltventil abgeschlossenen Stellraum eintreten kann. Die Änderung ΔP korrespondiert also mit der dem Rail entnommenen Kraftstoffmenge.

[0050] Da die vorstehend beschriebene geringfügige Bewegung des Schaltventils nicht ausreicht, eine Kraftstoffeinspritzung zu bewirken, bestimmt allein die in den Stellraum eingetretene Kraftstoffmenge die Änderung ΔP . Diese Kraftstoffmenge wird, wie durch die eine Rücklaufmenge q_r symbolisierende Kurve angedeutet, einem Rücklauf (nicht gezeigt) zugeführt.

[0051] Sobald die Ansteuerspannung U jedoch einen hinreichend großen Wert U_2 überschreitet, der dem Spannungsbedarf des betrachteten Einspritzventils ent-

spricht, bewirkt der Aktor 12 eine hinreichend große Bewegung des Schaltventils, so dass eine Einspritzung stattfinden kann, vgl. den Verlauf q der eingespritzten Kraftstoffmenge. Mit der Einspritzung geht ein entsprechender weiterer Druckabfall $\Delta P'$ einher, der durch das erfindungsgemäße Verfahren erkannt wird.

[0052] Aus Figur 4 ist ersichtlich, dass bei der vorstehend beschriebenen Ausbildung des Einspritzventils mit dem Schaltventil Testansteuerungen in einem Spannungsbereich ΔU zwischen U_1 und U_2 möglich sind, die zwar auf eine detektierbare Druckänderung ΔP führen, die jedoch nicht bereits eine Einspritzung bewirken. Dieser Spannungsbereich ΔU wird demnach erfindungsgemäß bevorzugt genutzt, um die ordnungsgemäße Funktion des Aktors 12 zu verifizieren. Aufgrund der Abwesenheit einer Kraftstoffeinspritzung bei den Testansteuerungen gemäß der vorstehend beschriebenen Verfahrensvariante kann das Verfahren insbesondere auch in einem Schubbetrieb oder einem Leerlaufbetrieb der Brennkraftmaschine durchgeführt werden, ohne zu Drehzahländerungen zu führen.

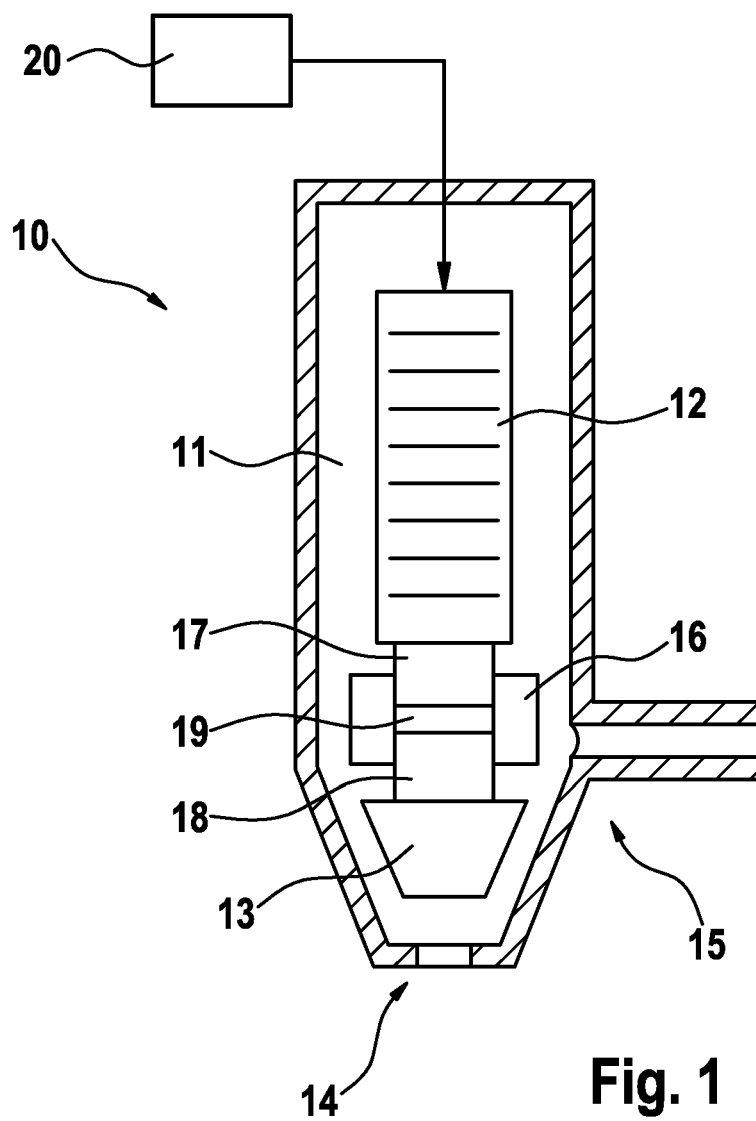
[0053] Alternativ zu der vorstehend beschriebenen Erfindungsvariante, bei der Testansteuerungen ausgehend von kleinen Werten für die Testspannung vorgenommen werden, um Einspritzungen zu vermeiden, kann die Testspannung auch von großen Werten ausgehend, die Einspritzungen bewirken, so lange abgesenkt werden, bis eine entsprechende Testansteuerung keine Einspritzung mehr bewirkt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Einspritzventils (10), insbesondere eines Kraftstoffeinspritzventils einer Brennkraftmaschine, bei dem ein als piezoelektrisches Element ausgebildeter Aktor (12) des Einspritzventils (10) mit einer Ansteuerspannung (U) beaufschlagbar ist, um eine Einspritzung von dem Einspritzventil (10) über ein Zufuhrsystem zugeführtes Fluid, insbesondere Kraftstoff, zu bewirken, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Aktor (12) in einer Testansteuerung mit einer vorgebbaren Testspannung beaufschlagt wird, und dass ein in dem Zufuhrsystem herrschender Fluiddruck zumindest während der Testansteuerung erfasst wird, um aus der Testspannung und dem erfassten Fluiddruck Informationen über einen Betriebszustand des Einspritzventils (10) und/oder des Aktors (12) abzuleiten.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere Testansteuerungen mit jeweils unterschiedlichen Werten für die Testspannung durchgeführt werden, und dass Änderungen des hierbei erfassten Fluiddrucks ermittelt werden.
3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch eine oder

mehrere Testansteuerungen eine minimale bzw. maximale Ansteuerspannung des Aktors (12) ermittelt wird, bei der eine Einspritzung stattfindet.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Einspritzventil (10) zur Einspritzung von Kraftstoff in einen Brennraum eines Zylinders einer Brennkraftmaschine vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Testansteuerungen periodisch durchgeführt werden, insbesondere auch in einem Normalbetrieb der Brennkraftmaschine.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Einspritzventil (10) zur Einspritzung von Kraftstoff in einen Brennraum eines Zylinders einer Brennkraftmaschine vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Testansteuerung in einem nicht drehmomentwirksamen Bereich eines Arbeitszyklus des Zylinders und/oder in einem Schubbetrieb der Brennkraftmaschine durchgeführt wird.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Aktor (12) über mindestens eine hydraulische Komponente, insbesondere ein Schaltventil, auf eine Ventalnadel (13) des Einspritzventils (10) wirkt, um eine Einspritzung zu bewirken, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Startwert für die Testspannung so gewählt wird, dass sich bei der Ansteuerung des Aktors (12) mit dem Startwert für die Testspannung keine Zustandsänderung der hydraulischen Komponente, insbesondere des Schaltventils, derart ergibt, dass eine Einspritzung stattfindet.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Startwert für die Testspannung in Abhängigkeit des Fluiddrucks und/oder anderer Betriebsgrößen des Einspritzventils (10) gewählt wird.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die im Wege der Testansteuerung(en) erhaltenen Informationen über einen Betriebszustand des Einspritzventils (10) und/oder des Aktors (12) verwendet werden, um Ansteuerparameter des Einspritzventils (10), insbesondere die Ansteuerspannung (U), zu modifizieren.
9. Computerprogramm, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 programmiert ist.
10. Steuergerät (20) für ein Einspritzventil (10), insbesondere ein Kraftstoffeinspritzventil einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 ausgebildet ist.



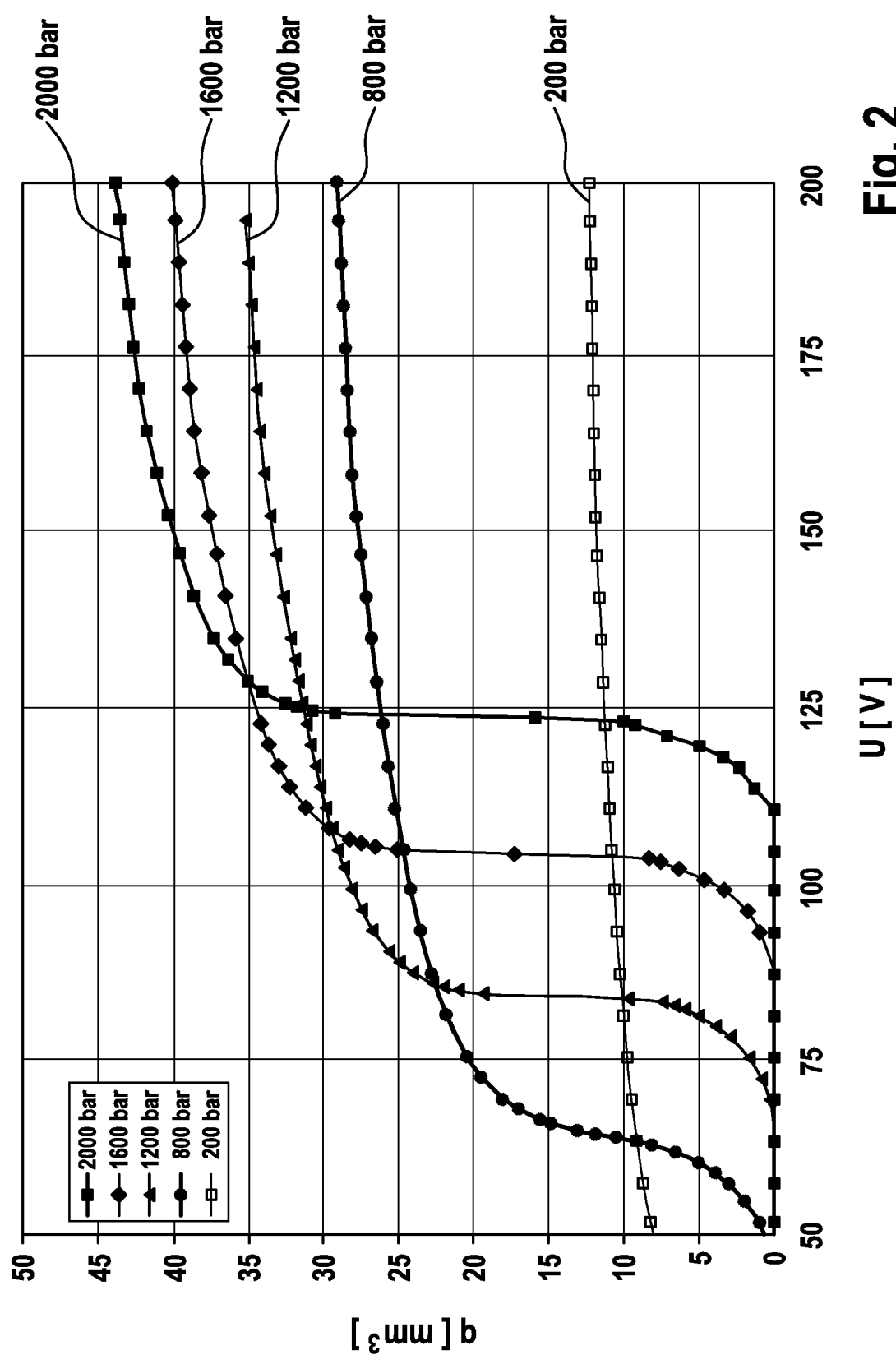


Fig. 2

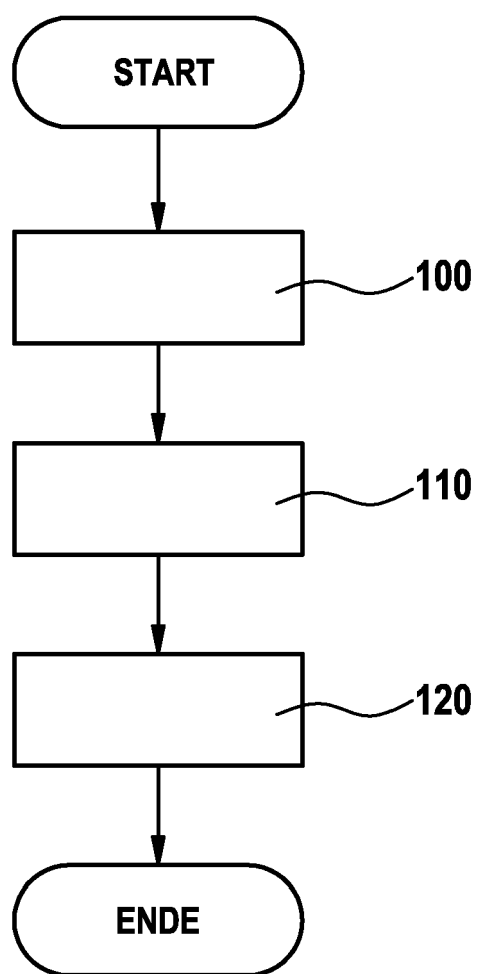


Fig. 3

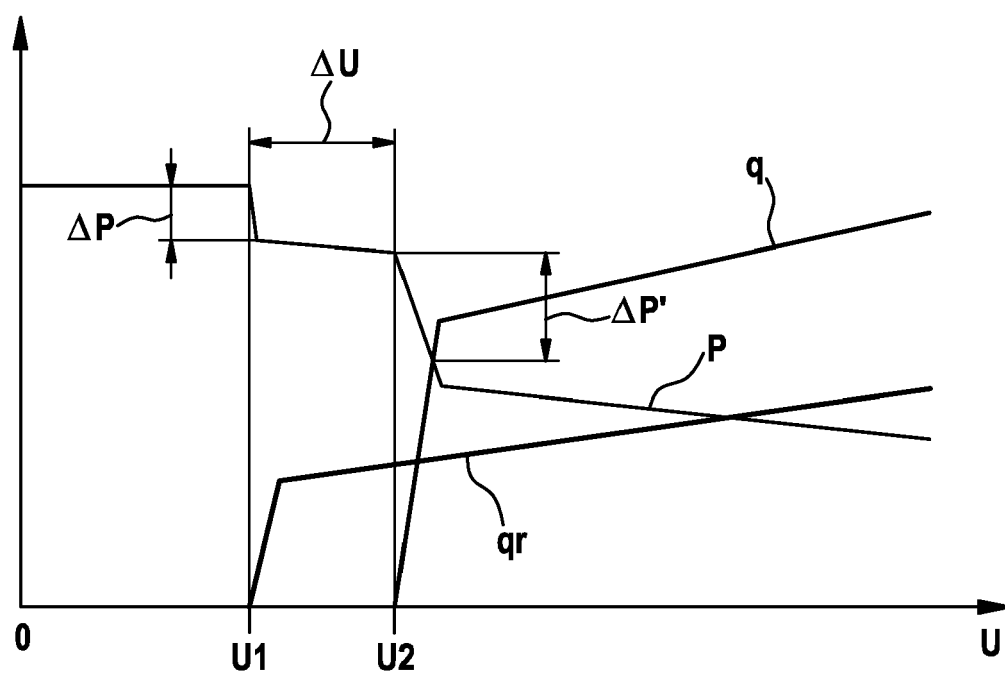


Fig. 4