



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 006 361 A1** 2006.08.24

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 006 361.6**

(22) Anmeldetag: **11.02.2005**

(43) Offenlegungstag: **24.08.2006**

(51) Int Cl.⁸: **F02D 41/38** (2006.01)
F02M 63/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

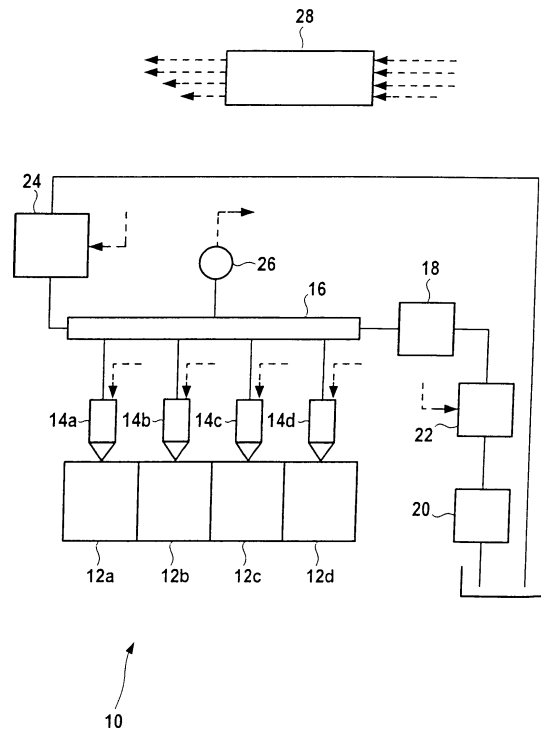
(72) Erfinder:

Veit, Guenter, 73207 Plochingen, DE; Becker, Oliver, 71640 Ludwigsburg, DE; Meyer, Torsten, 71640 Ludwigsburg, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: Bei einer Brennkraftmaschine (10) wird der Kraftstoff wenigstens zeitweise mit Druck in eine Kraftstoff-Sammelleitung (16) gefördert. An diese ist mindestens ein Injektor (14) angeschlossen, der den Kraftstoff direkt in einen ihm zugeordneten Brennraum (12) einspritzt. Eine Druckdifferenz, die in der Kraftstoff-Sammelleitung (1) bei mindestens einer Einspritzung (30) auftritt, wird erfasst. Es wird vorgeschlagen, dass dann, wenn die Druckdifferenz erfasst wird, die Kraftstoff-Sammelleitung (16) ein mindestens im Wesentlichen geschlossenes System ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Die Erfindung betrifft auch ein Computerprogramm, ein elektrisches Speichermedium für eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung einer Brennkraftmaschine, sowie eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung für eine Brennkraftmaschine.

Stand der Technik

[0002] Ein solches Verfahren ist beispielsweise aus der DE 197 26 756 C2 bekannt. Bei der dort gezeigten Brennkraftmaschine sind an eine Kraftstoff-Sammelleitung ("rail") mehrere Injektoren angeschlossen, die den Kraftstoff direkt in Brennräume der Brennkraftmaschine einspritzen. Eine Vorförder- und eine Hochdruckpumpe fördern den Kraftstoff unter hohem Druck in die Kraftstoff-Sammelleiter. Aus der Ermittlung bzw. Messung einer durch eine Änderung des Drucks bewirkten Druckdifferenz des in der Kraftstoff-Sammelleitung vorhandenen Kraftstoffes wird während einer Einspritzung die aktuell eingespritzte Kraftstoffmasse berechnet.

[0003] Um bei einem Kraftfahrzeug die heutigen Emissionsgrenzwerte nicht zu überschreiten und die Nennleistung der Brennkraftmaschine über eine lange Laufzeit der Brennkraftmaschine garantieren zu können, werden hohe Anforderungen an die Mengengenauigkeit der Kraftstoffanlage und der Injektoren über die gesamte Lebensdauer der Brennkraftmaschine beziehungsweise des Kraftfahrzeugs gestellt. Bedingt durch Exemplarstreuungen der Injektoren, Verschleiß im Bereich der Düsen der Injektoren, Verkokung der Kraftstoff-Auslassöffnungen, etc., sind diese Ziele nicht ohne komplexe Kompensationsstrategien zu erreichen. Zahlreiche Funktionen wurden in der Vergangenheit realisiert, mittels denen versucht wird, Informationen über den Injektorzustand zu erlangen.

[0004] So ist beispielsweise eine Mengenabgleichfunktion bekannt, welche unmittelbar nach der Fertigung eines Injektors an definierten Betriebspunkten die eingespritzte Menge ermittelt. Dieses direkte Verfahren gibt jedoch nur Auskunft über den Neuzustand eines Injektors, eine Eigenschaftsdrift eines Injektors im Laufe der Zeit kann so nicht berücksichtigt werden. Eine Nullmengenkalibrierung ermittelt eine Mindestansteuerdauer eines Injektors, bei der erstmals eine motorische Umsetzung der eingespritzten Kraftstoffmenge stattfindet. Die Nullmengenkalibrierung verwendet jedoch das nur begrenzt genaue Drehzahlsignal. Das gleiche Signal wird auch von einer Mengenausgleichsregelung ausgewertet, die dafür sorgt, dass alle Zylinder einer Brennkraftmaschine das gleiche Drehmoment erzeugen. Diese Funktion kann jedoch keine Aussage über die absolute Einspritzmenge oder Einspritzmasse und damit über die Drift eines Injektors abgeben.

Aufgabenstellung

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzubilden, dass die Kraftstoffmenge oder -masse noch genauer bestimmt werden kann.

[0006] Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Bei einem Computerprogramm, einem elektrischen Speichermedium, und einer Steuer- und/oder Regeleinrichtung wird die gestellte Aufgabe entsprechend gelöst.

Vorteile der Erfindung

[0007] Erfindungsgemäß wird mindestens für jenen Zeitraum, in dem die bei einer Druckänderung bewirkte Druckdifferenz in der Kraftstoff-Sammelleitung erfasst werden soll, diese – mit Ausnahme der Abströmmöglichkeit durch die Injektoren – zu einem im Wesentlichen geschlossenen System gemacht (die Verwendung des Begriffs "erfassen" bedeutet vorliegend, dass die Druckdifferenz entweder unmittelbar erfasst wird, oder dass Druckwerte erfasst werden, aus denen dann die Druckdifferenz ermittelt wird). Dies bedeutet in der Praxis, dass beispielsweise eine Förderung in die Kraftstoff-Sammelleitung gestoppt beziehungsweise unterbrochen wird, und dass beispielsweise ein Druckregelventil, welches Kraftstoff aus der Kraftstoff-Sammelleitung absteuert, während dieses Zeitraums geschlossen bleibt.

[0008] Durch diese Maßnahme werden Einflüsse, die neben einer Einspritzung ebenfalls eine Druckänderung bewirken können, zumindest weitgehend ausgeschlossen. Die bezüglich einer Einspritzung, durch die der Kraftstoff vorzugsweise direkt in einen Brennraum eingespritzt wird, relevante Auswertung der Druckdifferenz führt daher zu einem deutlich genaueren Ergebnis. Insbesondere die Bestimmung einer bei einer Einspritzung abgegebenen Kraftstoffmasse beziehungsweise – menge ist auf diese Weise mit deutlich erhöhter Genauigkeit

möglich.

[0009] Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den Unteransprüchen angegeben.

Ausführungsbeispiel

Zeichnungen

[0010] Nachfolgend werden besonders bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

[0011] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine;

[0012] [Fig. 2](#) mehrere Diagramme zur Erläuterung eines ersten Verfahrens zum Betreiben der Brennkraftmaschine von [Fig. 1](#);

[0013] [Fig. 3](#) eine Darstellung ähnlich [Fig. 2](#) eines zweiten Verfahrens; und

[0014] [Fig. 4](#) eine Darstellung ähnlich [Fig. 2](#) eines dritten Verfahrens.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0015] Eine Brennkraftmaschine trägt in [Fig. 1](#) das Bezugszeichen **10**. Sie ist in einem nicht dargestellten Kraftfahrzeug im Einsatz und umfasst einen Motorblock mit vier Zylindern beziehungsweise Brennräumen **12a** bis **12d**. In diese wird der Kraftstoff jeweils direkt durch einen Injektor **14a** bis **14d** eingespritzt. Die Injektoren **14** sind an eine Kraftstoff-Sammelleitung **16** ("rail") angeschlossen, in der der Kraftstoff unter hohem Druck, beispielsweise einigen 100 bar bis hin zu 2000 bar, gespeichert ist.

[0016] Der Kraftstoff wird in die Kraftstoff-Sammelleitung **16** von einer Kraftstoff-Hochdruckpumpe **18** gefördert, der der Kraftstoff wiederum über eine Vorförderpumpe **20** zugeführt wird. Zwischen Kraftstoff-Hochdruckpumpe **18** und Vorförderpumpe **20** ist eine Zumesseinheit **22** angeordnet. Bei dieser handelt es sich um eine steuerbare Drossel, welche einen Zustrom zur Kraftstoff-Hochdruckpumpe **18** fast vollständig unterbinden kann.

[0017] Der Druck in der Kraftstoff-Sammelleitung **16** wird mittels eines Drucksteuerventils **24** eingestellt, welches erforderlichenfalls Kraftstoff aus der Kraftstoff-Sammelleitung **16** absteuert. Der Druck in der Kraftstoff-Sammelleitung **16** wird von einem Drucksensor **26** erfasst. Gesteuert beziehungsweise geregelt wird der Betrieb der Brennkraftmaschine **10** von einer Steuer- und Regeleinrichtung **28**, die unter anderem mit dem Drucksteuerventil **24**, dem Drucksensor **26**, der Zumesseinheit **22**, und den Injektoren **14a** bis **14d** verbunden ist. In der Steuer- und Regeleinrichtung **28** ist ein Computerprogramm auf einem Speicher abgespeichert, welches verschiedene Verfahren zur Ausführung bringt, die nachfolgend unter Bezugnahme auf die [Fig. 2](#) bis [Fig. 4](#) erläutert werden:

Die oberste Kurve **29** in [Fig. 2](#) bezeichnet die Schaltzustände der Injektoren **14a** bis **14d** über der Zeit im Leerlauf der Brennkraftmaschine **10**. Mit **30a** werden Einspritzungen des Injektors **14a**, mit **30b** Einspritzungen des Injektors **14b**, und so weiter, bezeichnet. Ein vollständiger Arbeitszyklus eines Brennraums **12** erstreckt sich bei der vorliegenden Vier-Takt-Brennkraftmaschine **10** über sämtliche vier Arbeitstakte. Ein Arbeitszyklus der Brennkraftmaschine **10** erstreckt sich über sämtliche Arbeitszyklen der Brennräume **12a** bis **12d**. Der Schaltzustand 0 eines Injektors **14** bezeichnet einen geschlossenen Injektor **14**, bei dem keine Einspritzung stattfindet, wohingegen der Schaltzustand 1 einen geöffneten Injektor **14** bedeutet, bei dem Kraftstoff in den entsprechenden Brennraum gelangt. Man erkennt aus der Kurve **29** in [Fig. 2](#), dass jeder Injektor **14** pro Arbeitszyklus eine kurze Voreinspritzung VE und eine Haupteinspritzung HE bewirkt.

[0018] Eine zweite Kurve **32** von oben in [Fig. 2](#) bezeichnet den Schaltzustand der Zumesseinheit **22**. Der Schaltzustand 0 bezeichnet eine geschlossene, der Schaltzustand 1 eine geöffnete Zumesseinheit **32**. Eine dritte Kurve **34** von oben bezeichnet den Schaltzustand des Drucksteuerventils **24**. Auch hier gilt die Bezeichnung 0 für ein geschlossenes Drucksteuerventil **24**, der Schaltzustand 1 für ein geöffnetes Drucksteuerventil **34**. Dabei versteht sich, dass Zumesseinheit **22** und Drucksteuerventil **24** nicht nur zwei Schaltstellungen haben, sondern auch beliebige mehr oder weniger geöffnete Zwischenstellungen. Dies ist aus Gründen der Einfachheit in [Fig. 2](#) nicht gezeigt.

[0019] Eine in [Fig. 2](#) unterste Kurve **36** bezeichnet einen Druck p_{rail} des Kraftstoffs in der Kraftstoff-Sammelleitung **16**. Auch hier ist die Kurve vereinfacht dargestellt, das heißt die üblichen zum Teil stark hochfrequenten Druckschwankungen, die der Druck des Kraftstoffs in der Kraftstoff-Sammelleitung **16** aufweist, sind in [Fig. 2](#) nicht dargestellt. Man erkennt, dass zu einem Zeitpunkt t_1 , der zwischen den Einspritzungen **30c** und **30d** der beiden Injektoren **14c** und **14d** liegt, die Zumesseinheit **22** und das Drucksteuerventil **24** geschlossen werden. Die Kraftstoff-Sammelleitung **16** bildet nun ein im Wesentlichen geschlossenes System. Zu einem Zeitpunkt t_2 wird der in der Kraftstoff-Sammelleitung **16** herrschende Druck p_{rail} erfasst. Er hat einen Ausgangswert $p_{r,0}$. Dann erfolgen die Voreinspritzung VE und die Haupteinspritzung HE im Rahmen der Einspritzung **30d** durch den Injektor **14d**. Aufgrund dieser beiden Teil-Einspritzungen sinkt der Druck p_{rail} in der Kraftstoff-Sammelleitung **16** um die Druckdifferenz dp ab. Zu einem Zeitpunkt t_3 wird der Druck p_{rail} in der Kraftstoff-Sammelleitung **16** nochmals erfasst und die entsprechende Druckdifferenz dp gespeichert. Zum Zeitpunkt t_4 werden Zumesseinheit **22** und Drucksteuerventil **24** wieder normal angesteuert, so dass der Druck wieder auf den gewünschten Ausgangsdruck $p_{r,0}$ ansteigen kann.

[0020] Aus dem Druckabfall dp kann anhand des bekannten Kompressionsmoduls E des Kraftstoffs sowie des Volumens V der Kraftstoff-Sammelleitung **16** und der Zuleitungen (ohne Bezugszeichen in der Zeichnung) zu den Injektoren **14** die eingespritzte Kraftstoffmenge dV anhand der folgenden Beziehung (1) ermittelt werden:

$$dp = \frac{dV}{V} \times E \quad (1)$$

[0021] Das beschriebene Verfahren kann beispielsweise bei üblichen Inspektionen der Brennkraftmaschine durchgeführt werden. Dabei wird zunächst von der Steuer- und Regeleinrichtung **28** die Brennkraftmaschine in den Leerlauf und der Druck p_{rail} in der Kraftstoff-Sammelleitung **16** auf einen gewünschten Wert gebracht. Dabei kann die Genauigkeit bei der Ermittlung der eingespritzten Kraftstoffmenge dadurch erhöht werden, dass Werte verwendet werden, die aus einer Druckwellenkorrektur bekannt sind. Hierzu gehört beispielsweise eine Temperatur des Kraftstoffs in der Kraftstoff-Sammelleitung **16**, welche eine Korrektur des Kompressionsmoduls E gestattet. Auch gehört hierzu eine Einspritzmenge in Abhängigkeit des Kraftstoffdrucks p_{rail} in der Kraftstoff-Sammelleitung **16** bei einem Norminjektor. Werden mehrere Einspritzungen durchgeführt, ohne den Kraftstoffdruck p_{rail} in der Kraftstoff-Sammelleitung **16** wieder auf einen Ausgangs-Sollwert $p_{r,0}$ zu regeln (was für eine Mittelwertbildung sinnvoll ist), können die druckabhängigen Einspritzmengen wieder teilweise herausgerechnet werden.

[0022] Bei dem beschriebenen Verfahren können sämtliche Einspritzszenarien betrachtet werden, das heißt, auch Mengenwellen aufgrund von Druckwellen innerhalb der Kraftstoff-Sammelleitung **16** fließen in die Messung ein. Der Einfluss einer stoßartigen Nachförderung durch die Kraftstoff-Hochdruckpumpe **18** wird jedoch aufgrund der geschlossenen Zumesseinheit **22** nicht berücksichtigt. Es versteht sich darüber hinaus, dass die Genauigkeit bei der Ermittlung der tatsächlich in die Kraftstoff-Sammelleitung **16** bei einer Einspritzung gelangenden Kraftstoffmenge dadurch erhöht werden kann, dass die für die Betätigung des Injektors **14d** erforderliche Steuermenge an Kraftstoff berücksichtigt wird.

[0023] Nun wird anhand von [Fig. 3](#) ein alternatives Verfahren erläutert. Dabei gilt jedoch, dass solche Kurvenbereiche, welche äquivalent zur Kurvenbereichen von [Fig. 2](#) sind, der Einfachheit halber die gleichen Bezugszeichen tragen.

[0024] Bei dem in [Fig. 3](#) gezeigten Verfahren geht aus Kurve **29** hervor, dass die Einspritzungen **30** nicht aus einer Vor- und einer Haupteinspritzung, sondern aus einer Haupteinspritzung HE und einer kurzen Nacheinspritzung NE bestehen. Letztere werden während des regulären Betriebs der Brennkraftmaschine **10**, also ohne dass diese in einer Werkstattinspektion ist, erzeugt und zwar so, dass sie kein Drehmoment bewirken. Derartige Nacheinspritzungen NE werden beispielsweise zur Regeneration von Dieselpartikelfiltern eingesetzt. Bei einem ersten Arbeitszyklus **38** der Brennkraftmaschine **10** wird für die Einspritzung **30d** durch den Injektor **14d** der Druckabfall dp von einem Druck $p_{r,0}$ auf einen Druck $p_{r,0}$ bei geschlossener Zumesseinheit **22** und geschlossenem Drucksteuerventil **24** erfasst. Bei einem nachfolgenden Arbeitszyklus **38'** wird bei einer Einspritzung **30d'** nur eine Haupteinspritzung HE, jedoch keine Nacheinspritzung NE abgegeben. Entsprechend ist die Druckdifferenz dp' ebenfalls bei geschlossener Zumesseinheit **22** und geschlossenem Drucksteuerventil **24** geringer. Aus der Differenz ddp zwischen den beiden Druckdifferenzen dp und dp' kann nun durch eine entsprechende Auswertung (siehe oben) die bei einer Nacheinspritzung NE innerhalb einer Einspritzung **30d** vom Injektor **14d** abgegebene Kraftstoffmenge bestimmt werden.

[0025] Eine nochmals andere Variante ergibt sich aus [Fig. 4](#). Auch hier gilt, dass solche Diagrammbereiche,

welche äquivalent zu obigen Diagrammbereichen sind, gleich bezeichnet sind. Das aus [Fig. 4](#) hervorgehende Verfahren kann im Betrieb bei beliebigen Drehzahlen und Lasten, allerdings in einem stationären Betriebszustand der Brennkraftmaschine **10**, durchgeführt werden. Dies ist bei einem Kraftfahrzeug beispielsweise bei Autobahnfahrten der Fall. Hier werden zunächst über einen gesamten Arbeitszyklus **38** der Brennkraftmaschine **10**, also sämtlicher Brennräume **12a** bis **12d**, Zumesseinheit **22** und Drucksteuerventil **24** geschlossen, und während dessen wird der Druckabfall dp des Kraftstoffdrucks in der Kraftstoff-Sammelleitung **16** erfasst.

[0026] Bei einem nachfolgenden Arbeitszyklus **38''** der Brennkraftmaschine **10** – wobei sich diese immer noch insgesamt im gleichen Betriebszustand befinden muss – wird analog hierzu nochmals der Druckabfall dp'' gemessen, wobei in diesem Arbeitszyklus **38''** der Injektor **14d** keinen Kraftstoff einspritzt. Die Einspritzung **30d''** findet also nicht statt. Entsprechend ist der Druckabfall dp'' geringer als der Druckabfall dp . Die Differenz ddp der beiden Druckabfälle dp und dp'' wird ausgewertet, und hieraus kann, unter Berücksichtigung der obigen Beziehung, die Menge der Einspritzung **30d** bestimmt werden.

[0027] Man kann nun bei stationärem Betrieb der Brennkraftmaschine **10** sukzessive die Injektoren **14a** bis **14d** abschalten, was zu einem Zusammenhang $A \times q = Q$ führt, wobei

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \text{---} & 1 & 0 \\ 1 & & & 0 & 1 \\ | & & & 0 & | \\ 1 & 0 & & & 1 \\ 0 & 1 & \text{---} & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad a = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_n \end{bmatrix} \quad Q = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0028] In der obigen Beziehung (2) sind q_1 bis q_n die Einzel-Kraftstoffmassen der einzelnen Injektoren **14a** bis **14d**, Q_1 bis Q_n die Gesamt-Kraftstoffmassen, die innerhalb eines Arbeitszyklus **38** beziehungsweise **38''** eingespritzt werden, und A stellt eine Verknüpfungsmatrix dar. Bei mehreren Messungen innerhalb eines mindestens näherungsweise stationären Betriebszustandes über alle Zylinder beziehungsweise Brennräume (beim vorliegenden Ausführungsbeispiel die vier Brennräume **12a** bis **12d**) kann über die Pseudoinverse der Matrix A (diese kann Offline berechnet werden) gemittelt werden, beispielsweise nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate.

[0029] Nicht dargestellt in den Figuren ist ein Verfahren, welches die bisher gebräuchliche Nullmengenkalibrierung ersetzen oder ergänzen kann: Bei diesem Verfahren kann in einem Schubetrieb der Brennkraftmaschine **10**, bei dem normalerweise die Injektoren **14a** bis **14d** keinen Kraftstoff in die Brennräume **12a** bis **12d** einspritzen, bei geschlossener Zumesseinheit **22** und geschlossenem Drucksteuerventil **24** ein zu prüfender Injektor, beispielsweise der Injektor **14a**, ausgehend von einer Ansteuerung, welche auf jeden Fall keine Einspritzung zur Folge hat, mit jedem Arbeitszyklus **38** etwas länger angesteuert werden. Sobald vom Drucksensor **26** erfasst wird, dass der Druck p_{rail} in der Kraftstoff-Sammelleitung **16** abzufallen beginnt, bedeutet dies, dass vom Injektor **14a** mit der letzten erfolgten Ansteuerung Kraftstoff abgegeben worden ist. Auf diese Weise können auch solche Einspritzmengen erfasst werden, welche noch kein Drehmoment erzeugen.

[0030] Um die Genauigkeit bei der Ermittlung der abgegebenen Kraftstoffmenge nochmals zu erhöhen, können auch mögliche Undichtigkeiten seitens des Drucksteuerventils **24** und/oder der Zumesseinheit **22** berücksichtigt werden. Hierzu wird ebenfalls im Schubetrieb eine Druckmessung des Kraftstoffdrucks p_{rail} in der Kraftstoff-Sammelleitung **16** über einen bestimmten Zeitraum durchgeführt. Ein eventuell festgestellter Druckabfall muss, da die Injektoren **14a** bis **14d** in diesem Fall keine Einspritzungen durchgeführt haben, auf Undichtigkeiten seitens der Zumesseinheit **22** beziehungsweise des Drucksteuerventils **24** beruhen.

[0031] Bei den oben angegebenen Verfahren war für die Bestimmung der eingespritzten Kraftstoffmenge die Kenntnis vom Kompressionsmodul E des Kraftstoffs erforderlich. Sowohl die eingespritzte Kraftstoffmasse m als auch der Kompressionsmodul E sind jedoch von der Dichte ρ des Kraftstoffes abhängig:

$$E = \rho(p, T) u^2(p, T) \quad (3)$$

$$m = \rho(p, T) V_0 \quad (4)$$

$$\Delta p = \frac{\Delta V}{V_0} E_0 \quad \underline{\underline{\rho = \text{const}}} \quad \frac{\Delta m}{V_0} u^2(p, T) \quad (5)$$

wobei T die Temperatur des Kraftstoffes, u die Schallgeschwindigkeit im Kraftstoff, V_0 das Volumen in der Kraftstoff-Sammelleitung **16**, E_0 der Kompressionsmodul, und p der absolute Druck in der Kraftstoff-Sammelleitung **16** sind. Man erkennt, dass die eingespritzte Kraftstoffmasse m abhängig ist vom Quadrat der Schallgeschwindigkeit u, also nicht mehr direkt abhängig vom Kompressionsmodul E. Wird nun die Schallgeschwindigkeit u in der Kraftstoff-Sammelleitung **16** über die Eigenfrequenzen der Druckschwingungen im interessierenden Betriebszustand gemessen (während der Druckmessung beziehungsweise der Erfassung der Druckdifferenz können auch die hochfrequenten Druckschwingungen aufgezeichnet werden), kann die eingespritzte Kraftstoffmasse m in einem Betriebspunkt unabhängig von der eingesetzten Kraftstoffsorte (also dem Kompressionsmodul E), dem absoluten Druck p in der Kraftstoff-Sammelleitung **16**, und der Temperatur T des Kraftstoffes bestimmt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (**10**), bei dem der Kraftstoff wenigstens zeitweise in eine Kraftstoff-Sammelleitung (**16**) gefördert wird, an die mindestens ein Injektor (**14**) angeschlossen ist, und bei dem eine Druckdifferenz (dp), die in der Kraftstoff-Sammelleitung (**16**) bei mindestens einer Einspritzung (**30**) auftritt, erfasst wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Erfassung der Druckdifferenz (dp) die Kraftstoff-Sammelleitung (**16**) zu einem mindestens im Wesentlichen geschlossenen System gemacht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Erfassung der Druckdifferenz (dp) eine Förderung in die Kraftstoff-Sammelleitung (**16**) und/oder ein Rückströmen von Kraftstoff aus der Kraftstoff-Sammelleitung (**16**) unterbrochen wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass bei niedriger Drehzahl, insbesondere im Leerlauf, die Kraftstoff-Sammelleitung (**16**) für eine Einspritzung (**30d**) eines bestimmten Injektors (**14d**) zu einem mindestens im Wesentlichen geschlossenen System gemacht wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Einspritzung (**30d**), bei der die Druckdifferenz (dp) erfasst und für die die Kraftstoff-Sammelleitung (**16**) zu einem mindestens im Wesentlichen geschlossenen System gemacht wird, in einem Arbeitszyklus (**38**) in mehr Teil-Einspritzungen (HE, NE) aufgeteilt ist als bei einem anderen Arbeitszyklus (**38'**), wobei die den beiden Arbeitszyklen (**38**, **38'**) gemeinsamen Teil-Einspritzungen (HE) wenigstens im Wesentlichen identisch sind, und dass die Differenz (ddp) der jeweils erfassten Druckdifferenz (dp, dp') ausgewertet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass während eines ersten Arbeitszyklus (**38**) und während eines zweiten Arbeitszyklus (**38'**) jeweils über alle Zylinder (**12**) die Druckdifferenz (dp, dp'') erfasst wird und die Kraftstoff-Sammelleitung (**16**) ein geschlossenes System bildet, wobei während eines der beiden Arbeitszyklen (**38**, **38''**) ein Injektor (**14d**) stillgelegt wird (**30d''**), und dass die Differenz (ddp) der beiden Druckdifferenzen (dp, dp'') ausgewertet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein Gleichungssystem $A \cdot q = Q$ mit

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \\ 1 & & & & 0 & 1 \\ | & / & & 0 & & | \\ 1 & 0 & & & & 1 \\ 0 & 1 & \dots & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad a = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_n \end{bmatrix} \quad Q = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_n \end{bmatrix}$$

gebildet wird, wobei q_1 bis q_n = Einzel-Kraftstoffmassen, Q_1 bis Q_n = Gesamt-Kraftstoffmassen, und A = Verknüpfungsmatrix, dass die Messungen mehrfach innerhalb eines mindestens näherungsweise stationären Betriebszustandes durchgeführt werden, und dass Mittelwerte über die Pseudoinverse von A berechnet werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Schubetrieb der Brennkraftmaschine (**10**) bei wenigstens im Wesentlichen abgeschlossener Kraftstoff-Sammelleitung (**16**) ein Injektor (**14a**), ausgehend von einer Ansteuerung, welche auf jeden Fall keine Einspritzung zur Folge hat, mit jedem Arbeitszyklus (**38**) länger angesteuert wird, und dass ein einsetzender Druckabfall in der Kraftstoff-Sammelleitung (**16**) erfasst wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Schubetrieb

der Druckabfall mindestens über einen Arbeitszyklus (**38**) aller Zylinder (**12**) erfasst wird, ohne dass eine Einspritzung erfolgt, und dieser Druckabfall bei der Auswertung berücksichtigt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schallgeschwindigkeit (u) im Kraftstoff in der Kraftstoff-Sammelleitung (**16**) über die Eigenfrequenzen auftretender Druckschwingungen ermittelt und bei der Auswertung berücksichtigt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kraftstoffmenge, welche für die Ansteuerung des Injektors (**14**) erforderlich ist, bei der Auswertung berücksichtigt wird.

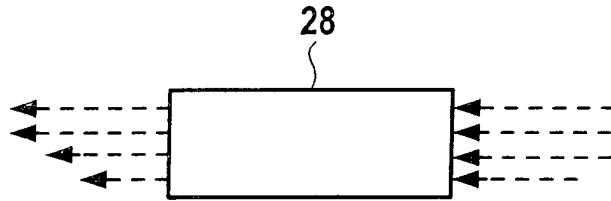
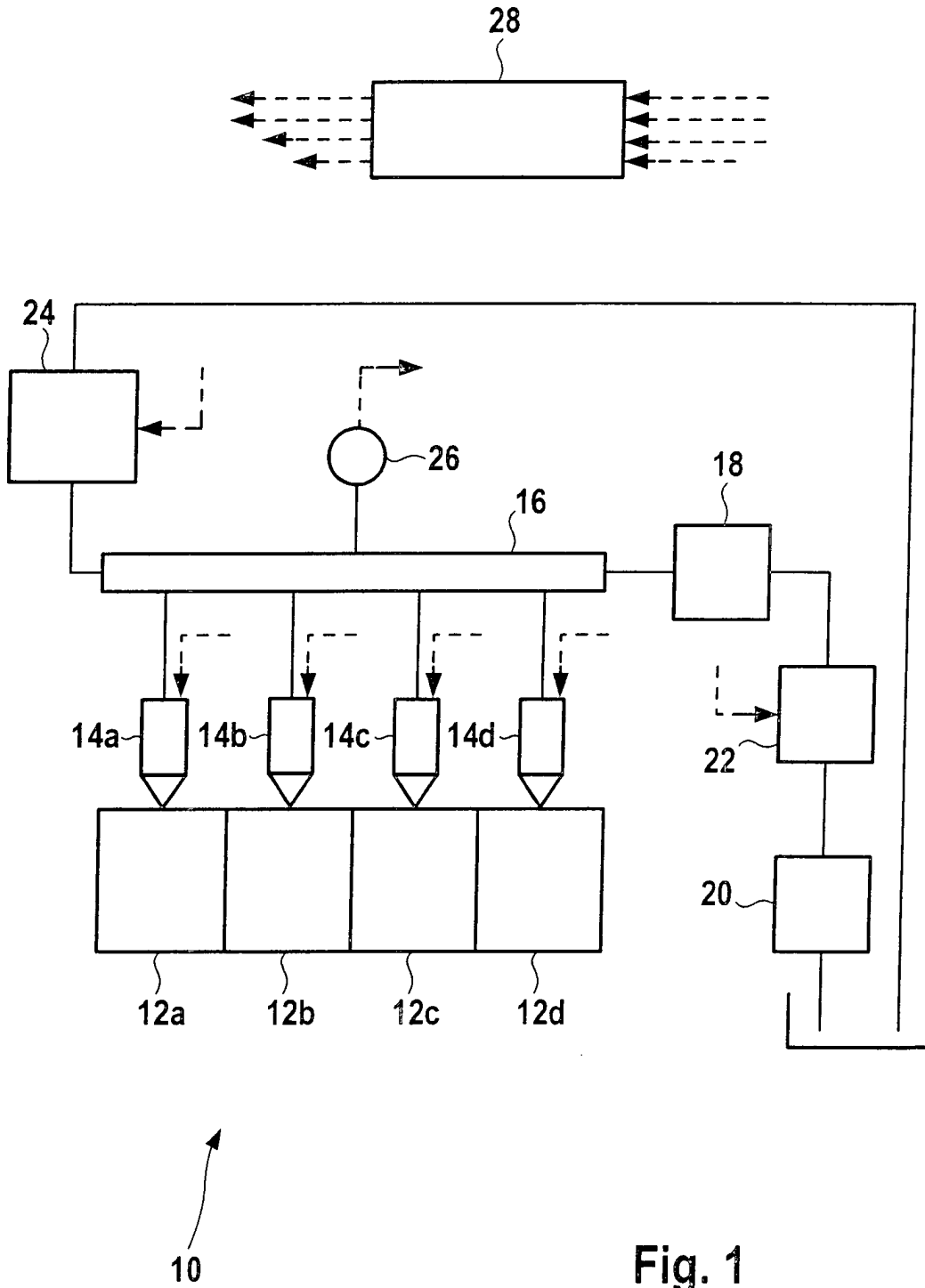
11. Computerprogramm, dadurch gekennzeichnet, dass es zur Anwendung in einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche programmiert ist.

12. Elektrisches Speichermedium für eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung (**28**) einer Brennkraftmaschine (**10**), dadurch gekennzeichnet, dass auf ihm ein Computerprogramm zur Anwendung in einem Verfahren der Ansprüche 1 bis 9 abgespeichert ist.

13. Steuer- und/oder Regeleinrichtung (**28**) für eine Brennkraftmaschine (**10**), dadurch gekennzeichnet, dass sie zur Anwendung in einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 programmiert ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



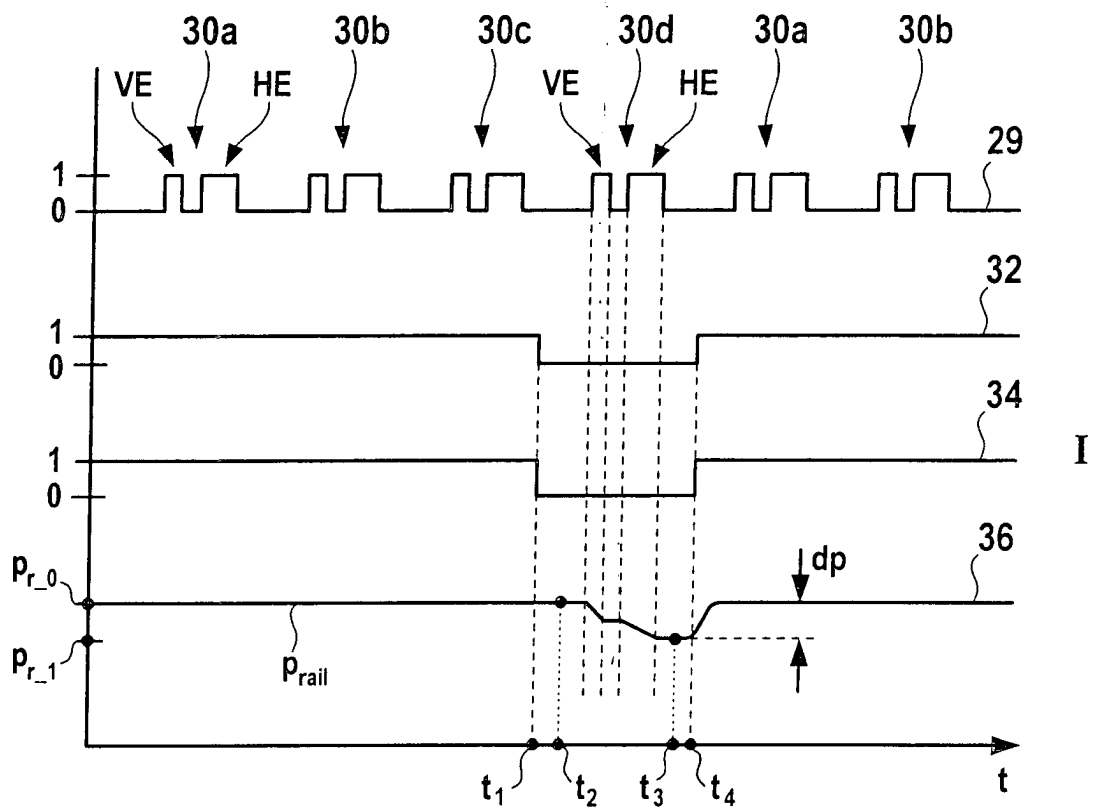


Fig. 2

