

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 538 324 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
08.06.2005 Patentblatt 2005/23

(51) Int Cl.7: **F02D 41/38, F02D 41/24**

(21) Anmeldenummer: **04023769.5**

(22) Anmeldetag: **06.10.2004**

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

(72) Erfinder:
• **Frenz, Thomas**
86720 Noerdlingen (DE)
• **Hollmann, Timm**
71636 Ludwigsburg (DE)
• **Kuempel, Jörg**
70567 Stuttgart (DE)

(30) Priorität: **01.12.2003 DE 10356052**

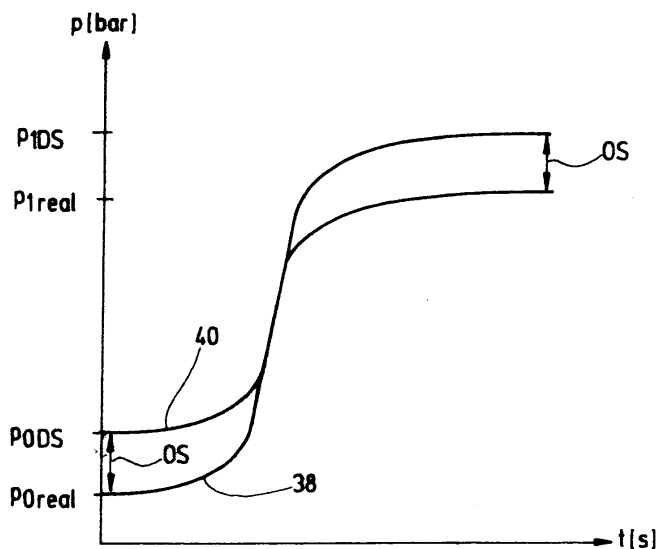
(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH**
70442 Stuttgart (DE)

(54) **Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine und Steuergerät für eine Brennkraftmaschine**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs, bei dem Kraftstoff mittels einer in einem Niederdruckbereich arbeitenden Vorförderpumpe (12) und einer in einem Hochdruckbereich arbeitenden Hauptförderpumpe (18) in einen Druckspeicher (20) gefördert wird und von dem Druckspeicher (20) mittels wenigstens einer Kraftstoffzumessvorrichtung unter Druck in einen Brennraum der Brennkraftmaschine abgegeben wird, bei dem der in dem Druckspeicher (20) herrschende Druck mittels wenigstens eines für den Hochdruckbereich ausgelegten Drucksensors (24) erfasst

wird, und bei dem der Drucksensor (24) mittels des durch die Vorförderpumpe (12) bereitgestellten Niederdrucks für Messungen im Niederdruckbereich abgeglichen wird. Der Abgleich des Drucksensors (24) erfolgt durch Vergleich mit einem vorgegebenen Maximalwert des Drucks im Niederdruckbereich.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Steuergerät für eine Brennkraftmaschine, die mit einem solchen Verfahren betreibbar ist. Das Steuergerät weist Prozessormittel zum Abgleich des Drucksensors (24) durch Vergleich mit einem vorgegebenen Maximalwert des Drucks im Niederdruckbereich auf.

**Fig.2****EP 1 538 324 A2**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und ein Steuerelement für ein Steuergerät einer Brennkraftmaschine mit den Merkmalen des Patentanspruchs 13. Die Erfindung betrifft ferner ein Steuergerät für eine Brennkraftmaschine gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 14 sowie eine entsprechende Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs gemäß Patentanspruch 16.

Stand der Technik

[0002] Brennkraftmaschinen mit Kraftstoffdirekteinspritzung sind als selbstzündende (Diesel-) oder als fremdgezündete (Otto-) Brennkraftmaschinen bekannt. Beide arbeiten mit relativ hohen Kraftstoffdrücken, um die gewünschten Verbrennungsbedingungen in den Brennräumen herstellen zu können. Eine bekannte Ausführungsform sieht einen Hochdruckspeicher vor, dem der Kraftstoff aus einem Vorratstank mittels einer Hochdruck- bzw. sog. Hauptförderpumpe zugeführt wird. Da diese Hochdruckpumpen meist nicht selbstansaugend sind, ist zwischen Vorratstank und Hochdruckpumpe eine Vorförder- bzw. sog. Niederdruckpumpe vorgesehen, welche den Kraftstoff in einen Niederdruckbereich fördert. Die Vorförderpumpe ist oftmals eine elektrische Kraftstoffpumpe (EKP), welche für einen erforderlichen Druck im Niederdruckbereich sorgt.

[0003] Bei Brennkraftmaschinen mit Kraftstoffdirekteinspritzung müssen die unterschiedlichen Druckwerte im Kraftstoffhochdruckspeicher möglichst exakt gemessen werden, da die Berechnung der Einspritzzeitdauern für eine bestimmte Kraftstoffmenge abhängig von den mittels eines Hochdrucksensors erfassten Druckwerten erfolgt. Ein vom Drucksensor falsch gelieferter Druckwert führt unmittelbar zu einer falschen Berechnung der Einspritzmenge. Daraus können erhöhte Emissionen und erhöhte Verbrauchswerte der Brennkraftmaschine resultieren. Bei der Benzin-Direkteinspritzung (BDE) wie auch bei Dieselmotoren mit Direkteinspritzung sind zur Sicherstellung optimaler Verbrennungsabläufe je nach Betriebspunkt der Verbrennung unterschiedliche Speicherdrücke erforderlich.

[0004] Die Toleranzen von derzeit eingesetzten Hochdrucksensoren betragen üblicherweise ca. 1 bis 2 Prozent, bezogen auf ihren gesamten Messbereich, den sog. Full-Scale (FS) Wert. Eine temperaturabhängige Toleranzaufweitung kann diese Abweichungen noch vergrößern. Insbesondere bei niedrigen Druckwerten, wie sie im Teillastbetrieb der Brennkraftmaschine auftreten, können die durch den Hochdrucksensor verursachten Fehler bei der Kraftstoffzumessung Werte von zehn Prozent oder mehr bei 10 bar und bis ca. 5 Prozent bei 20 bar Speicherdruck erreichen. Der Messbereich (FS) reicht bei Kraftstoffeinspritzsystem für Benzin-Direkteinspritzung derzeit üblicherweise bis

ca. 140 bar. In Zukunft sollen jedoch noch deutlich größere Kraftstoffdrücke erzielt werden.

[0005] Aus diesem Grund ist es wünschenswert, Toleranzfehler und Druckabweichungen des Drucksensors zu erfassen. Ein bekanntes Verfahren sieht einen Abgleich bzw. eine Adaption mittels eines Vergleichs mit dem Umgebungsdruck vor. Hierbei entsteht jedoch der Nachteil, das nicht immer sicher gestellt werden kann, dass im Hochdruckspeicher Umgebungsdruck herrscht. Da sich der Druck im Hochdruckspeicher nach dem Abstellen der Brennkraftmaschine nicht unmittelbar, sondern exponentiell über einen längeren Zeitraum dem Umgebungsdruck annähert, besteht die Gefahr, dass der je nach Dauer der Abstellzeit unterschiedlich hohe Restdruck im Hochdruckspeicher den Abgleich verfälscht.

[0006] Ein weiteres bekanntes Verfahren sieht einen Vergleich der vom Drucksensor gelieferten Druckwerte mit einem vorgegebenen Maximaldruck vor, der durch einen mechanischen Druckregler im Niederdruckkreis vorgegeben wird. Hierbei besteht jedoch die Gefahr, dass der sogenannte Vorlauf der Vorförderpumpe möglicherweise nicht ausreichend lang war, um den Wert der Druckreglers zu erreichen. Eine fehlerhafte Adaption wäre die Folge. Mit dem Vorlauf der Vorförderpumpe ist im vorliegenden Zusammenhang der Aufbau des Niederdrucks vor dem Starten der Brennkraftmaschine gemeint. Da die Hochdruckpumpe unmittelbar nach dem Starten für den Aufbau des Hochdrucks im Druckspeicher sorgen muss, wird der Vorlauf der Vorförderpumpe meist bereits vor dem Starten der Brennkraftmaschine aktiviert, bspw. durch Einschalten einer elektrischen Kraftstoffpumpe.

[0007] Verfahren, die eine Adaption während des Fahrbetriebs mittels einer Druckabsenkung im Hochdruckspeicher bis auf den Vordruck vorsehen, haben den Nachteil, dass für die Zeitdauer der Adaption ein homogener Motorbetrieb erforderlich ist. Die Zeitdauer für die Adaption ist bei Systemen ohne aktive Druckabbau-möglichkeit außerdem sehr lang.

[0008] Eine Adaption des Hochdrucksensors während des Nachlaufs eines Steuergeräts nach dem Abstellen der Brennkraftmaschine ist nur möglich, wenn der Druck im Hochdruckkreis auf das Niveau des Niederdruckkreises abgebaut werden kann. Hierzu ist eine ständige Leckage vom Hochdruckkreis in den Niederdruckkreis (passive Druckabbaufunktion) oder ein zusätzliches Ventil (aktive Druckabbaufunktion) erforderlich. Eine solche Variante ist aber mit zusätzlichem Bauaufwand und daher mit weiteren Zusatzkosten verbunden. Sie wird deshalb in den wenigsten Systemen eingesetzt.

[0009] Ein Verfahren zum Abgleich eines Drucksensors eines Kraftstoffversorgungssystems einer direkt-einspritzenden Brennkraftmaschine ist in der DE 199 08 411 A1 beschrieben. Hierbei wird der an einem Druckspeicher befindliche Drucksensor mittels eines durch eine Vorförderpumpe bereitgestellten Niederdrucks für

Messungen im Niederdruckbereich abgeglichen.

Vorteile der Erfindung

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sieht eine Adaption bzw. einen Abgleich eines im Druckspeicher angeordneten Drucksensors mittels eines Vergleichs des vom Drucksensor gelieferten Sensorsignals mit einem vorgegebenen bzw. vorgebbaren Wert des Drucks im Niederdruckbereich vor. Dieser Vergleich kann auf einfache und effiziente Weise einen Offsetfehler des Drucksensors offenbaren, ohne dass hierfür weitere, ggf. aufwändige Maßnahmen oder Messungen notwendig wären. Die Adaption kann beliebig oft durchgeführt werden, so dass nicht nur Offsetfehler erkannt, sondern diese auch permanent ausgeregelt werden können. Der vorgebbare bzw. vorgegebene Wert des Drucks im Niederdruckbereich kann insbesondere ein Maximalwert des Niederdrucks sein, der bspw. durch den maximalen Förderdruck der Vorförderpumpe, durch einen Druckregler bzw. durch ein Druckbegrenzungsventil vorgegeben ist. Wahlweise kann der Wert bzw. Maximalwert des Drucks im Niederdruckbereich auch variabel vorgebar und veränderlich sein, bspw. durch Auswertung eines Sensorsignals eines zusätzlichen Niederdrucksensors im Niederdruckbereich des Kraftstoffversorgungssystems.

[0011] Typischerweise erfolgt der Abgleich bzw. die Adaption des Drucksensors vor dem Starten der Brennkraftmaschine, bspw. während einer Initialisierungsphase eines Steuergeräts bzw. während des sog. Vorlaufs der Vorförderpumpe. Auf diese Weise kann vor jedem Startvorgang der Brennkraftmaschine auf einfache und schnelle Weise der Offsetfehler ermittelt und ggf. bei der weiteren Drucksteuerung im Druckspeicher berücksichtigt werden. Grundsätzlich kann der Abgleich vor jedem Starten der Brennkraftmaschine, oder nur in regelmäßigen Zeitabständen durchgeführt werden.

[0012] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird für den Abgleich des Drucksensors eine erste Differenz aus dem im Druckspeicher herrschenden Druck vor dem Förderbeginn der Niederdruckpumpe und einem Umgebungsdruck bestimmt. Es kann dann zusätzlich eine zweite Differenz aus dem im Druckspeicher gemessenen Druck nach Erreichen eines vorgegebenen Maximalwerts für den Druck im Niederdruckbereich und diesem Maximalwert bestimmt werden. Ein Offsetfehler kann des Drucksensors kann aus den errechneten Werten für die erste Differenz und/oder für die zweite Differenz hergeleitet werden. Vorzugsweise jedoch wird für die Bestimmung des Offsetfehlers die erste mit der zweiten Differenz verglichen, woraus eine zusätzliche Plausibilitätsprüfung gewonnen werden kann. Diese Plausibilitätsprüfung kann bspw. bei einer nur minimalen Abweichung zwischen der ersten Differenz und der zweiten Differenz ein positives Ergebnis liefern, so dass beide Werte jeweils zur Errechnung des Offsetfehlers verwendet werden können.

nen.

[0013] Bei einer ersten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Maximalwert für den Druck im Niederdruckbereich mittels eines maximalen Förderdrucks der Vorförderpumpe und/oder mittels eines zusätzlichen Druckregelventils im Niederdruckkreis vorgegeben. Der maximale Förderdruck der Vorförderpumpe kann entweder bekannt sein oder vor dem Einbau gemessen werden. Der maximale Förderdruck der Niederdruckpumpe bzw. der Öffnungsdruck des Druckregelventils sollte möglichst exakt bekannt sein, um eine ausreichend genaue Basis zur Bestimmung des Offsetfehlers bieten zu können.

[0014] Eine vorteilhafte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass der Druck im Niederdruckbereich geregelt werden kann. Hierbei ist neben dem Hochdrucksensor ein zusätzlicher Niederdrucksensor vorgesehen, der im unteren Druckbereich bis ca. 10 bar wesentlich genauere Druckwerte liefern kann als der Hochdrucksensor. Diese Sensorinformation des Niederdrucksensors kann somit zur Adaption des Hochdrucksensors genutzt werden. Das zuvor beschriebene Verfahren kann somit auch bei diesen Systemen eingesetzt werden. Indem der Niederdrucksensor als zusätzliche Informationsquelle genutzt wird, kann sowohl der Einsatzbereich der Adaption erweitert als auch die Robustheit der Adaption erhöht werden. Der Maximalwert des Drucks im Niederdruckbereich kann bei dieser Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens verändert und an die spezifischen Randbedingungen des Kraftstoffversorgungssystems angepasst werden.

[0015] Mittels der Adaption des Nullpunktes des Drucksensors kann dessen Offsetfehler stark reduziert werden. Auch eine Verschlechterung der Sensorgenauigkeit über die Lebensdauer kann dadurch reduziert werden. Die Zumesssgenauigkeit, insbesondere in den unteren Druckbereichen, wird stark erhöht, da die abgesetzte Kraftstoffmenge in korrekter Weise in Abhängigkeit vom Druck im Hochdruckspeicher berechnet wird.

[0016] Wahlweise kann bei einem festgestellten Offsetfehler ein Regeleingriff in die Druckregelung des Druckspeichers erfolgen und/oder ein Fehlersignal erzeugt werden, das bspw. in einem Fehlerspeicher eines Motorsteuergeräts abgelegt und für Diagnosezwecke ausgelesen werden kann. Somit besteht die zusätzliche Möglichkeit, mittels dieses Verfahrens eine Plausibilitätsprüfung des Drucksensors durchzuführen, in der überprüft werden kann, ob der Sensor noch innerhalb der spezifizierten Toleranz liegt. Liegt der Sensor außerhalb der zulässigen Toleranz, kann ein Eintrag in den Fehlerspeicher des Motorsteuergeräts erfolgen und so eine zusätzliche Information zu dem im allgemeinen verwendeten Signal-Range-Check liefern.

[0017] Eine vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann darin bestehen, dass bei Überschreitung eines vorgegebenen Toleranzwertes für das Offsetsignal des Drucksensors ein Fehler-

verdachtsignal erzeugt wird. Bei nochmaliger Überschreitung des vorgegebenen Toleranzwertes für das Offsetsignal bei einem der folgenden Abgleichvorgänge kann dann ein Fehlersignal erzeugt und im Fehlerspeicher abgelegt werden.

[0018] Ein erfindungsgemäßes Steuerelement kann insbesondere ein Read-Only-Memory (ROM) für ein Steuergerät einer Brennkraftmaschine aufweisen, auf dem ein Programm abgespeichert ist, das auf einem Rechenggerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor ablauffähig und zur Ausführung eines Verfahrens nach einer der zuvor beschriebenen Ausführungsformen bzw. Varianten geeignet ist.

[0019] Ein solches Steuergerät mit den Merkmalen des Patentanspruchs 14 weist gemäß vorliegender Erfindung Prozessmittel zum Abgleich des Drucksensors durch Vergleich mit einem vorgegebenen Maximalwert des Drucks im Niederdruckbereich auf. Gemäß einer bevorzugten Variante der Erfindung weist das Steuergerät Mittel zur Herleitung eines Offsetfehlers des Drucksensors aus einer ersten Differenz aus dem im Druckspeicher herrschenden Druck vor dem Förderbeginn der Niederdruckpumpe und einem Umgebungsdruck und/oder aus einer zweiten Differenz aus dem im Druckspeicher herrschenden Druck nach Erreichen des vorgegebenen Maximalwerts für den Druck im Niederdruckbereich und diesem Maximalwert auf.

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren und das erfindungsgemäße Steuergerät eignen sich insbesondere für die Anwendung bei einer Brennkraftmaschine mit Benzin-Direkteinspritzung. Grundsätzlich ist das erfindungsgemäße Verfahren sowie das erfindungsgemäße Steuergerät auch zur Anwendung bei einer Brennkraftmaschine mit Kraftstoff-Direkteinspritzung und Selbstzündung geeignet.

[0021] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Varianten der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den abhängigen Ansprüchen genannten Merkmalen.

Zeichnungen

[0022] Die Erfindung wird nachfolgend in bevorzugten Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt:

Figur 1 ein schematisches Blockschaltbild einer Ausführungsvariante einer erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs,

Figur 2 ein Diagramm zur Veranschaulichung eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Abgleich eines Drucksensors,

Figur 3 ein Diagramm zur Verdeutlichung einer typischen Kennlinientoleranz eines Hochdrucksensors und

Figur 4 ein Diagramm zur Veranschaulichung einer temperaturabhängigen Toleranzaufweitung des Hochdrucksensors.

5 Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0023] Die Figur 1 zeigt ein typisches Kraftstoffversorgungssystem 10 einer erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine, die insbesondere für den Einsatz in einem Kraftfahrzeug geeignet ist. Die Brennkraftmaschine des dargestellten Ausführungsbeispiels weist vier Brennräume auf, in denen jeweils ein Kolben oszillieren kann, um die durch Verbrennung von Kraftstoff und Luft entstehende Verbrennungskraft auf eine rotierende Kurbelwelle zu übertragen. Bei der Brennkraftmaschine handelt es sich um eine Ausführungsform, bei der der Kraftstoff, vorzugsweise Benzin, direkt in die Brennräume eingespritzt wird.

[0024] Der Kraftstoff wird mittels einer Vorförderpumpe 12 aus einem Vorratstank 14 entnommen und über einen Kraftstofffilter 16 zu einer Hauptförderpumpe 18 gefördert. Diese fördert den Kraftstoff in einen Druckspeicher 20, der auch als Kraftstoffhochdruckspeicher bzw. als sog. Common Rail bezeichnet wird. Die Vorförderpumpe 12 ist unter anderem deshalb notwendig, weil die üblicherweise als Hauptförderpumpen 18 verwendeten Hochdruckpumpen nicht selbstansaugend sind und daher nach dem Start der Brennkraftmaschine nicht für den notwendigen Kraftstoffdruck im Druckspeicher 20 sorgen könnten. Die meist als elektrische Kraftstoffpumpe (EKP) ausgeführte Vorförderpumpe 12 kann wahlweise einen integrierten Druckregler bzw. ein nachgeschaltetes Druckregelventil (nicht dargestellt) aufweisen, um nach kurzer Zeit einen weitgehend konstanten Druck im Niederdruckkreis 22 zu liefern.

[0025] Der Druckspeicher 20 weist einen Drucksensor 24 sowie ein Drucksteuerventil 26 auf. Der Drucksensor 24 liefert ein elektrisches Signal p_{Sp} , dessen Wert eine Aussage über den im Druckspeicher 20 herrschenden Kraftstoffdruck liefert. Das elektrische Signal p_{Sp} wird über eine Leitung 28 an ein elektrisches Steuergerät 30 geliefert. Mit Hilfe des Drucksteuerventils 26 sowie des Drucksensors 24 kann der Kraftstoffdruck im Druckspeicher 20, also der auf den Kraftstoff einwirkende Druck, von dem Steuergerät 30 auf die gewünschten Werte geregelt werden.

[0026] Aktuelle Systeme arbeiten nach dem Prinzip der Bedarfsregelung. Das bedeutet, es wird jeweils nur so viel Kraftstoff aus dem Tank gefördert, wie auch aktuell für die Verbrennung benötigt wird. Als Stellglied der Hochdruckregelung fungiert hierbei üblicherweise ein in die Hochdruckpumpe integriertes Mengensteuerventil bzw. Zumesventil (Dieselmotoren). In diesen Systemen ist in der Regel kein Drucksteuerventil am Druckspeicher bzw. an der sog. Rail vorhanden.

[0027] Bei dem Steuergerät 30 kann es sich bspw. um einen programmierbaren Mikroprozessor handeln, der elektronische Speicherbausteine und weitere erforder-

liche Komponenten aufweist, und der in das Kraftfahrzeug eingebaut ist. Das Steuergerät 30 erhält dabei die für die Durchführung des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens erforderlichen Signale, die u.a. vom Drucksensor 24 und erzeugt daraus die erforderlichen Steuersignale zur Ansteuerung von Aktoren wie bspw. von Einspritzventilen 32 oder des Drucksteuerventils 26, sofern ein solches vorhanden ist.

[0028] Die Einspritzventile 32, der Druckspeicher 20 und die Hauptförderpumpe 18 bilden zusammen einen Hochdruckkreis 34. Der Kraftstoffdruck im Druckspeicher 20 und damit im Hochdruckkreis 34 kann je nach Ausführungsform der Brennkraftmaschine zwischen über hundert bar (ca. 140 bar bei Benzin-Direkteinspritzung) und bis über 2000 bar (bei Diesel-Direkteinspritzung) betragen.

[0029] Mit dem Druckspeicher 20 stehen in diesem Ausführungsbeispiel vier Einspritzventile 32 in Verbindung, wobei jedem Brennraum der Brennkraftmaschine eines der Einspritzventile 32 zugeordnet ist, die den Kraftstoff zu gewünschten Zeitpunkten und in gewünschter Menge direkt dem jeweiligen Brennraum zu messen können. Über elektrische Leitungen 36 sind die Einspritzventile 32 mit dem Steuergerät 30 verbunden. Zur Ansteuerung eines der Einspritzventile 32 liefert das Steuergerät 30 ein elektrisches Signal, mit dem das entsprechende Ventil 32 in einen geöffneten Zustand gebracht werden kann. Die Dauer des Signals bestimmt die Öffnungsdauer des Ventils und damit die zum jeweiligen Brennraum zugemessene Kraftstoffmenge. Ggf. können während eines Verbrennungstaktes mehrere unterbrochene Signale erzeugt werden, um bspw. eine Vor-, eine Haupt- sowie ggf. eine Nacheinspritzung zu realisieren.

[0030] Der Drucksensor 24 ist für den Einsatz im Hochdruckbereich, bspw. bis 140 bar ausgelegt. Seine Messgenauigkeit von ca. 1 bis 2 % bezieht sich damit auf den vollen Messbereich zwischen Null und 140 bar. Je geringer die gemessenen Druckwerte sind, desto stärker wirken sich Messungenauigkeiten, Toleranzen und Offsetfehler des Drucksensors 24 auf die Güte des Sensorsignals p_{Sp} aus. Der relative Fehler kann im Niederdruckbereich Werte von bis zu 20 % oder mehr erreichen.

[0031] Da bei Brennkraftmaschinen mit Benzin-Direkteinspritzung vor dem Starten der Vorförderpumpe 12 (sog. EKP Vorlauf, d.h. Vorlauf der elektrischen Kraftstoffpumpe) aufgebaut wird, eignet sich dieser Zeitpunkt zum Abgleich bzw. zur Adaption des Drucksensors 24.

[0032] In Figur 2 ist dieses Verfahren zum Abgleich des Drucksensors 24 anhand eines qualitativen Diagramms veranschaulicht. Auf der Ordinatenachse sind hierbei in zwei parallel verlaufenden Kurven 38 und 40 qualitative Druckverläufe (Druck p in bar) vom Anlaufen der Vorförderpumpe 12 bis zur Erreichung eines vorgegebenen Maximalwerts für den Druck im Niederdruck-

kreis 22 aufgetragen. Auf der Abszissenachse ist die Zeit (t in Sekunden) bis zur Erreichung des vorgegebenen Niederdrucks aufgetragen.

[0033] Die untere Kurve 38 verdeutlicht den realen Druckverlauf vom Umgebungsdruck p_{0real} bis zum vorgegebenen Maximaldruck P_{1real} im Niederdruckkreis 22, der über den Druckregler in der Vorförderpumpe 12 bzw. über das Druckregelventil auf typische Werte zwischen 4 bar und 10 bar eingestellt sein kann. Die obere Kurve 40 verdeutlicht das vom Drucksensor 24 gelieferte Drucksignal p_{Sp} im Druckspeicher 20, das von einem Ausgangswert p_{0DS} bis zum Maximalwert p_{1DS} ansteigt. Die Differenz der beiden Werte liefert zu jedem Zeitpunkt den gesuchten Offsetfehler OS des Drucksensors 24, der im Steuergerät 30 durch geeignete Maßnahmen ausgegelt werden kann.

[0034] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird zunächst der Druck p_{0DS} im Druckspeicher 20 vor dem Vorlauf der Vorförderpumpe 12, bspw. während einer Initialisierungsphase des Steuergerätes 30 erfasst und mit dem Druckwert P_{1DS} nach erfolgtem Vorlauf der Vorförderpumpe 12 verglichen. Dies ist der Endwert des Niederdrucks, der durch den mechanischen Druckregler definiert ist bzw. der mittels eines zusätzlichen Niederdrucksensors gesteuert werden kann. Wenn im Kraftstoffsystem vor der Ansteuerung der Vorförderpumpe 12 Umgebungsdruck geherrscht hat und wenn nach erfolgtem Vorlauf der Kraftstoffpumpe der nominelle Vordruck herrscht, so muss die Differenz zwischen dem Druck im Kraftstoffhochdruckspeicher und dem Umgebungsdruck vor dem Vorlauf der Vorförderpumpe gleich sein der Differenz aus dem Endwert des Drucks im Hochdruckspeicher und dem durch den Druckregler beziehungsweise durch den zusätzlichen Niederdrucksensor vorgegebenen Druckreglerwert. Diese Differenz entspricht dann dem Offsetfehler des Drucksensors.

[0035] Bei einem Offsetfehler des Drucksensors 24 gilt

$$P_{0DS} - P_{0real} = P_{1DS} - P_{1real} = P_{adp} ,$$

wobei P_{adp} dem adaptierten Sensorfehler entspricht, der in allen Betriebspunkten zu dem Sensorwert P_{DS} hinzu gerechnet werden muss, um den realen Druck P_{real} zu erhalten:

$$P_{real} = P_{DS} - P_{adp} .$$

[0036] Eine vorteilhafte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass der Niederdruck auch geregelt werden kann. Hierbei ist neben dem Hochdrucksensor am Druckspeicher auch ein zusätzlicher Niederdrucksensor im Niederdruckkreis vorgesehen, der im unteren Druckbereich bis ca. 10 bar wesentlich genauere Druckwerte liefert als der Hochdrucksensor. Diese Sensorinformation des Niederdrucksensors kann

somit zur Adaption des Hochdrucksensors genutzt werden. Vor dem Abgleich der Sensoren muss sichergestellt werden, dass der Druck im Druckspeicher 20 dem Druck im Niederdruckkreis 22 entspricht. Dies kann über einen beobachteten Druckanstieg beim Anschalten der Vorförderpumpe 12 sichergestellt werden. Sind sowohl der Hochdruck als auch der Niederdruck auf ihre Endwerte eingeschungen, kann ein Abgleich der Sensorwerte erfolgen.

[0037] Indem der Niederdrucksensor als zusätzliche Informationsquelle genutzt wird, kann sowohl der Einsatzbereich der Adaption erweitert als auch die Robustheit der Adaption erhöht werden.

[0038] Mittels der Adaption des Nullpunktes des Drucksensors kann dessen Offsetfehler stark reduziert werden. Auch eine Verschlechterung der Sensorgenauigkeit über die Lebensdauer kann dadurch reduziert werden. Die Zumessgenauigkeit, insbesondere in den unteren Druckbereichen, wird stark erhöht, da die abgesetzte Kraftstoffmenge in korrekter Weise in Abhängigkeit vom Druck im Hochdruckspeicher berechnet wird. Weiterhin besteht die Möglichkeit mittels dieses Verfahrens eine Plausibilitätskontrolle des Drucksensors durchzuführen, indem überprüft werden kann, ob der Sensor noch innerhalb der spezifizierten Toleranz liegt. Liegt der Sensor außerhalb der zulässigen Toleranz, kann beispielsweise ein Eintrag in den Fehlerspeicher des Motorsteuergeräts erfolgen und so eine zusätzliche Information zu dem im allgemeinen verwendeten Signal-Range-Check liefern.

[0039] Die Figur 3 verdeutlicht eine typische Kennlinien-toleranz eines Hochdrucksensors, wie er als Drucksensor 24 bei einem Kraftstoffversorgungssystem 10 zum Einsatz kommt. Nach seiner typischen Lebensdauer kann sich die Toleranz T — bezogen auf den maximalen Messbereich — um von bis zu 1,5 % auf Werte von bis 2 % oder mehr vergrößern. Während auf der Ordinate die Messtoleranz in Prozent von der sog. Full-Scale-Range aufgetragen ist, zeigt die Abszisse den Druck zwischen Null und dem Maximalen Messbereich von 140 bar. Die beiden inneren Kurven 42 verdeutlichen ein Neuteil, während die beiden äußeren Kurven 44 die maximale Messtoleranz eines Drucksensors 24 nach Ablauf seiner typischen Lebensdauer verdeutlichen.

[0040] Eine temperaturbezogene Toleranzaufweitung wird anhand der Figur 4 verdeutlicht. An der Kurve 46 wird dort erkennbar, dass die Messtoleranz des Drucksensor in Temperaturbereichen zwischen 0 °C und 90 °C die zuvor erwähnten Werte aufweisen kann, so dass sie in diesem Bereich den Faktor 1 erhält. Die Messtoleranz kann sich bei Temperaturen unterhalb 0 °C bzw. oberhalb 90 °C um einen Faktor F von bis zu 1,5 (bezogen auf eine Temperatur von -40 °C bzw. auf eine Temperatur von +130 °C) steigern.

[0041] Die toleranz- bzw. offsetbeeinflussenden Effekte entsprechend der Figuren 3 und 4 können sich in der Realität addieren, so dass erhebliche Offsetfehler entstehen können, welche sich teilweise sehr nachteilig

auf die Verbrennungsabläufe und damit auf den Kraftstoffverbrauch sowie das Abgasverhalten der Brennkraftmaschine auswirken können. Beiden skizzierten Effekten kann mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Abgleich bzw. zur Adaption des Drucksensors begegnet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs, bei dem Kraftstoff mittels einer in einem Niederdruckbereich arbeitenden Vorförderpumpe (12) und einer in einem Hochdruckbereich arbeitenden Hauptförderpumpe (18) in einen Druckspeicher (20) gefördert wird und von dem Druckspeicher (20) mittels wenigstens einer Kraftstoffzumessvorrichtung unter Druck in einen Brennraum der Brennkraftmaschine abgegeben wird, bei dem der in dem Druckspeicher (20) herrschende Druck mittels wenigstens eines für den Hochdruckbereich ausgelegten Drucksensors (24) erfasst wird, und bei dem der Drucksensor (24) mittels des durch die Vorförderpumpe (12) bereitgestellten Niederdrucks für Messungen im Niederdruckbereich abgeglichen wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abgleich des Drucksensors (24) durch Vergleich mit einem vorgegebenen bzw. vorgebbaren Wert, insbesondere Maximalwert, des Drucks im Niederdruckbereich erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abgleich des Drucksensors (24) vor dem Starten der Brennkraftmaschine erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Abgleich des Drucksensors (24) eine erste Differenz aus dem im Druckspeicher (20) gemessenen Druck vor dem Förderbeginn der Vorförderpumpe (12) und einem Umgebungsdruck bestimmt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Abgleich des Drucksensors (24) eine zweite Differenz aus dem im Druckspeicher (20) gemessenen Druck nach Erreichen des vorgegebenen Maximalwerts für den Druck im Niederdruckbereich und diesem Maximalwert bestimmt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Offsetfehler (OS) des Drucksensors (24) aus den errechneten Werten für die erste Differenz und/oder die zweite Differenz abgeleitet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **da-**

durch gekennzeichnet, dass für den Abgleich des Drucksensors (24) die erste Differenz mit der zweiten Differenz verglichen wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Plausibilitätsprüfung bei einer minimalen Abweichung zwischen der ersten Differenz und der zweiten Differenz ein positives Ergebnis liefert. 5
8. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Maximalwert für den Druck im Niederdruckbereich mittels eines Druckregelventils vorgegeben wird. 10
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Maximalwert für den Druck im Niederdruckbereich mittels eines Niederdrucksensors vorgegeben bzw. gesteuert wird. 15
10. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einem festgestellten Offsetfehler (OS) des Drucksensors (24) ein Fehlersignal erzeugt wird. 20
11. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Überschreitung eines vorgegebenen Toleranzwertes für das Offsetsignal des Drucksensor (24) ein Fehlerverdachtsignal erzeugt wird. 25
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei nochmaliger Überschreitung des vorgegebenen Toleranzwertes für das Offsetsignal des Drucksensors (24) bei einem der folgenden Abgleichvorgänge ein Fehlersignal erzeugt wird. 30
13. Steuerelement, insbesondere Read-Only-Memory für ein Steuergerät (30) einer Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs, auf dem ein Programm abgespeichert ist, das auf einem Rechenggerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor ablauffähig und zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 geeignet ist. 35
14. Steuergerät für eine Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs, die einen Brennraum aufweist, in den Kraftstoff mittels einer in einem Niederdruckbereich arbeitenden Vorförderpumpe (12) und einer in einem Hochdruckbereich arbeitenden Hauptförderpumpe (18) über einen Druckspeicher (20) und mittels wenigstens einer Kraftstoffzuleitungs- und Messvorrichtung unter Druck in einen Brennraum der Brennkraftmaschine abgebar ist, bei dem der in dem Druckspeicher (20) herrschende Druck mittels wenigstens eines für den Hochdruckbereich 40

ausgelegten Drucksensors (24) erfassbar ist, und bei dem der Drucksensor (24) mittels des durch die Vorförderpumpe (12) bereitgestellten Niederdrucks für Messungen im Niederdruckbereich abgleichbar ist, **gekennzeichnet durch** Prozessormittel zum Abgleich des Drucksensors (24) **durch** Vergleich mit einem vorgegebenen Maximalwert des Drucks im Niederdruckbereich. 45

15. Steuergerät nach Anspruch 14, **gekennzeichnet durch** Mittel zur Herleitung eines Offsetfehlers (OS) des Drucksensors (24) aus einer ersten Differenz aus dem im Druckspeicher (20) herrschenden Druck vor dem Förderbeginn der Vorförderpumpe (12) und einem Umgebungsdruck und/oder aus einer zweiten Differenz aus dem im Druckspeicher (20) herrschenden Druck nach Erreichen des vorgegebenen Maximalwerts für den Druck im Niederdruckbereich und diesem Maximalwert. 50

16. Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs, die nach einem Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12 arbeitet und/oder bei der ein Steuerelement nach Anspruch 13 sowie ein Steuergerät nach Anspruch 14 oder 15 vorgesehen sind. 55

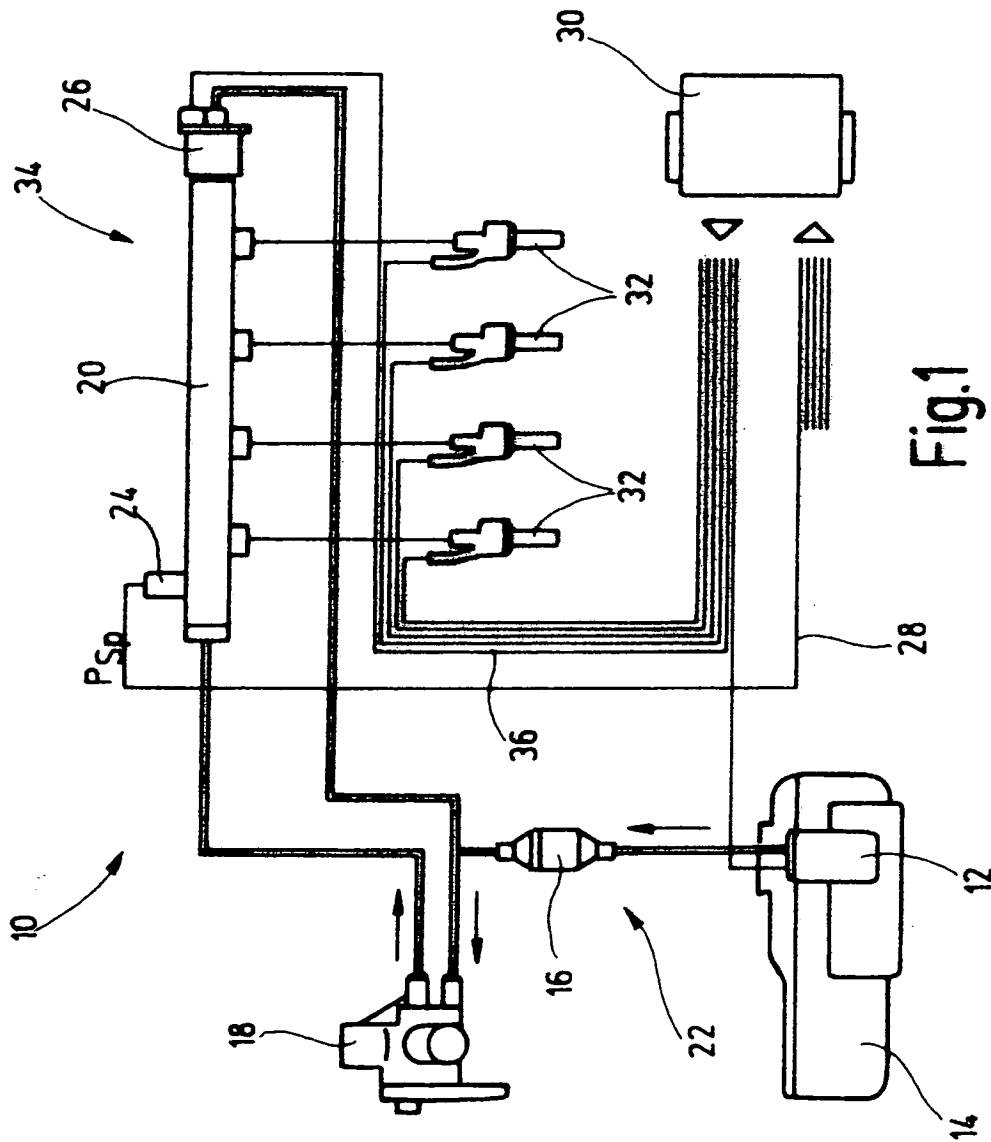


Fig. 1

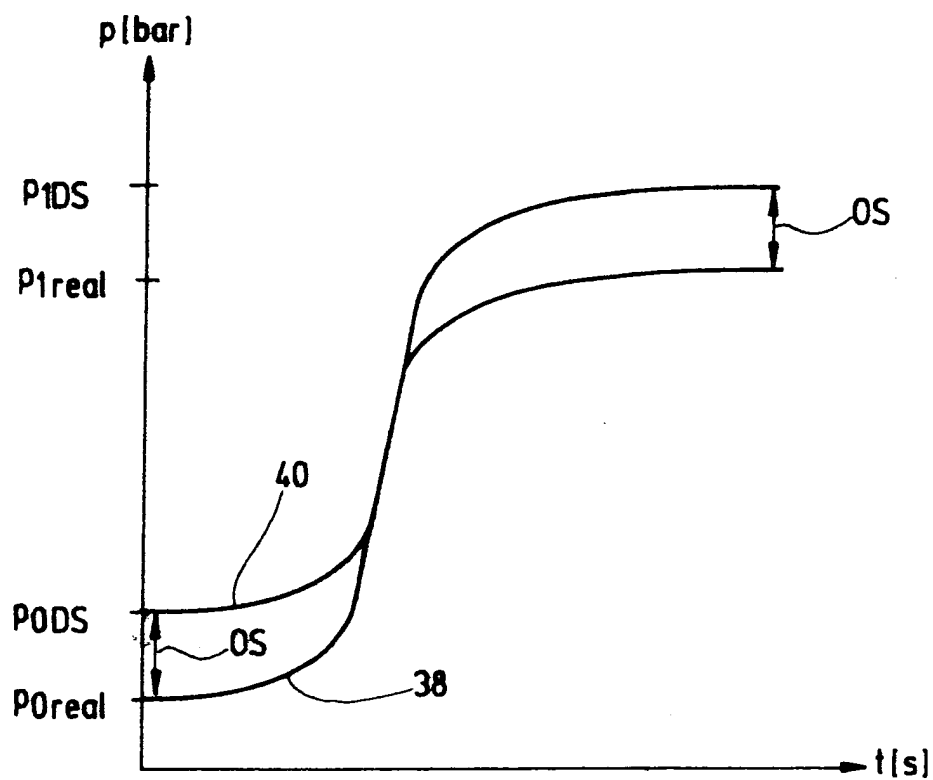


Fig. 2

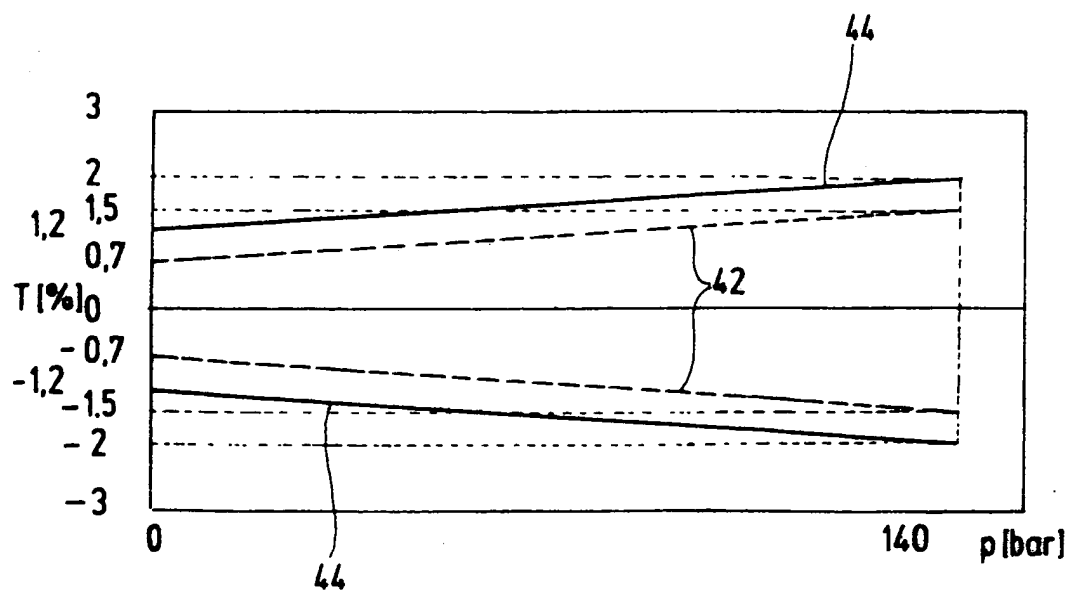


Fig. 3

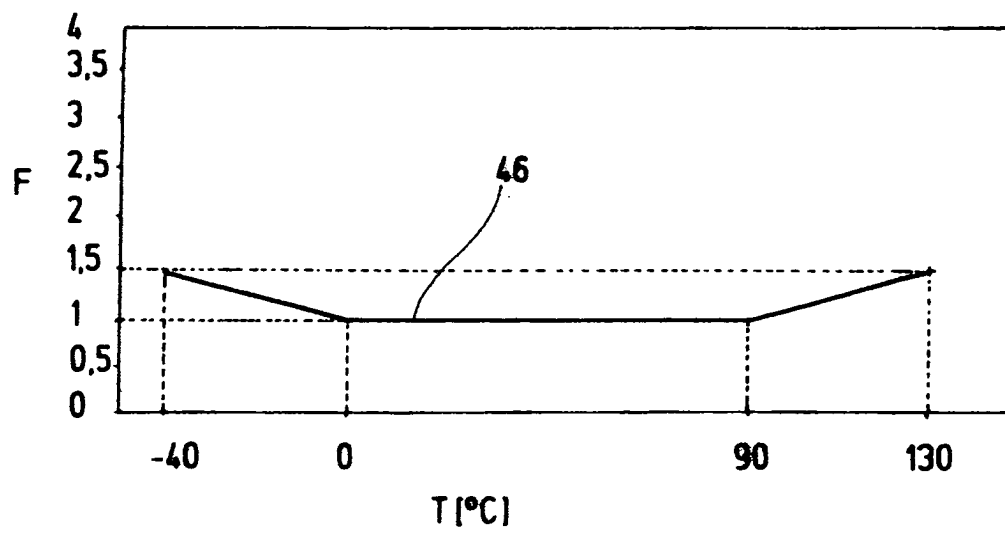


Fig.4