

(19)



(11)

EP 1 828 580 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
09.01.2013 Patentblatt 2013/02

(51) Int Cl.:
F02D 41/14 ^(2006.01) **F02D 41/30** ^(2006.01)
F02D 41/38 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05825518.3**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2005/012575

(22) Anmeldetag: **24.11.2005**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2006/072285 (13.07.2006 Gazette 2006/28)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR KRAFTSTOFFVERSORGUNG VON VERBRENNUNGSMOTOREN**

METHOD AND DEVICE FOR SUPPLYING INTERNAL COMBUSTION ENGINES WITH FUEL

PROCEDE ET DISPOSITIF D'ALIMENTATION EN CARBURANT DE MOTEURS A COMBUSTION INTERNE

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

- **LANG, Leonhard**
38102 Braunschweig (DE)
- **PIANTADOSI, Nicola**
38440 Wolfsburg (DE)

(30) Priorität: **24.12.2004 DE 102004062613**

(74) Vertreter: **Pohlmann, Bernd Michael**
Reinhardt & Pohlmann
Patentanwälte
Rossmarkt 12
60311 Frankfurt am Main (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
05.09.2007 Patentblatt 2007/36

(73) Patentinhaber: **Volkswagen Aktiengesellschaft**
38440 Wolfsburg (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1- 10 137 315 DE-A1- 10 158 950
DE-A1- 10 300 929 DE-A1- 19 951 410

(72) Erfinder:
• **WACHTENDORF, Axel**
38518 Gifhorn (DE)

EP 1 828 580 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kraftstoffversorgung von Verbrennungsmotoren mit einem Einspritzsystem mittels einer Hochdruckpumpe, insbesondere für die Versorgung von Common-Rail-Systemen, bei welchen eine Vorförderpumpe die Hochdruckpumpe mit Kraftstoff versorgt.

[0002] Es ist bekannt, zur Verbesserung der Leistung von Verbrennungsmotoren mit Zylinder-Einspritzsystem und der Reduzierung von Abgas, den Kraftstoffeinspritzdruck so zu erhöhen, dass der Kraftstoff in feine Tröpfchen zerstäubt wird. Das Kraftstoffversorgungssystem von Verbrennungsmotoren ist deshalb so aufgebaut, dass die für derzeitige Systeme typischen Werte für den Hochdruck von 4 bis 10 Mpa erreicht werden.

[0003] Bekannte Kraftstoffversorgungssysteme, wie beispielsweise in der DE 41 26 640 A1 beschrieben, sind in ein Niederdruck- und in ein Hochdrucksystem unterteilt. Der aus dem Kraftstofftank mittels einer Niederdruckkraftstoffpumpe vorgeforderte und unter einen geringen Vordruck gesetzte Kraftstoff wird an die Hochdruckpumpe, die als Radial-Kolbenpumpe ausgeführt ist, geliefert. Der Kraftstoffdruck wird auf einen vorbestimmten Druckwert weiter angehoben. Der Systemdruck wird im Hochdrucksystem geregelt, wobei der Ist-Druck mittels eines Hochdrucksensors erfasst wird, in einer Motorsteuereinheit mit einem Soll-Druck verglichen wird und ein Stellwert für ein Druckbegrenzungsventil ermittelt wird. In einer gemeinsamen Hochdruck-Sammelleitung (Common-Rail) wird der erforderliche Druck eingestellt und die überschüssige Kraftstoffmenge über eine Rückstromleitung zum Tank abgedrosselt. Der Hochdruck wird unabhängig von der in den Verbrennungsmotor eingespritzten Kraftstoffmenge auf den Hochdruck-Sollwert geregelt. Die überschüssige Kraftstoffmenge kann auch gezielt in einem zusätzlichem Spülstrom geführt werden. Allerdings stellt sich hier das Problem einer übermäßigen Aufheizung des Kraftstoffs.

[0004] Gemäß der DE 196 52 831 A1 kann der Kraftstoff statt zum Tank zurück geleitet, auch in die Hochdruckpumpe zurückgeführt und dort sofort wieder komprimiert werden, was den Wirkungsgrad des Kraftstoffversorgungssystem verbessert.

[0005] Der Soll-Druck des Niederdrucksystems wird üblicherweise ebenfalls geregelt und variabel in Abhängigkeit von der Dampfdruckkurve des im schlechtesten Fall anzunehmenden Kraftstoffs und ermittelten Adaptionswerten vorgegeben.

Der mittels eines Niederdrucksensor erfasste Ist-Druck wird mit dem Soll-Druck verglichen und in einer Motorsteuereinheit zu einer Reglerantwort verarbeitet, wobei gleichzeitig ein angepasster Adaptionswert für den Soll-Druck ermittelt und eingestellt wird. Mittels der Reglerantwort der Niederdruckregelung, Solldruck, Adaptionswert und dem aktuellen Kraftstoffmassenfluss wird in der Motor-Steuerereinheit ein Kennfeld mit Werten für die Förderleistungsanforderung der Niederdruckpumpe, die übli-

cherweise als elektrische Kraftstoffpumpe ausgeführt ist, adressiert und ein Leistungswert für die Pumpe ermittelt und ausgegeben.

[0006] Im Heiß- sowie im Kaltstart nimmt üblicherweise der Soll-Druck seine höchsten Werte an. Im Heißstart muss eine Dampfblasenbildung vermieden werden, da die Hochdruckpumpe bei Dampfblasenbildung keinen Hochdruck mehr erzeugen kann und im Kaltstart muss von den Einspritzventilen eine große Kraftstoffmenge in den Brennraum bei noch nicht aktiver Hochdruckpumpe eingespritzt werden.

[0007] Mit steigendem Vordruck sinkt jedoch die Förderleistung der Niederdruckpumpe, so dass bei bestimmten Betriebspunkten mit hohem Soll-Druck die Niederdruckpumpe sehr stark belastet wird und unter Umständen an ihre Fördergrenzen stößt.

[0008] Um einerseits eine Dampfblasenbildung in der Brennkraftmaschine zu verhindern und andererseits die Versorgung der Brennkraftmaschine mit Kraftstoff in allen Betriebszuständen sicher zu stellen, wird in der DE 199 51 410 A1 vorgeschlagen, einen möglichst geringen Vordruck, bei dem ein Verdampfen des Kraftstoffs noch vermieden wird, einzustellen. Dazu wird die aktuelle Temperatur des Kraftstoffs in der Hochdruckpumpe ermittelt und in Abhängigkeit von der ermittelten Temperatur die Niederdruckpumpe derart angesteuert oder geregelt, dass diese den ermittelten Vordruck erzeugt.

[0009] Neben der Temperatur hat jedoch auch die Qualität des Kraftstoffs entscheidenden Einfluss auf die Dampfblasenbildung, da unterschiedliche Kraftstoffe bei unterschiedlichen Temperaturen verdampfen. Um eine sichere Funktionsweise der Brennkraftmaschine zu gewährleisten, wird üblicherweise der Vordruck auf den worstcase-Fall mit einer großen Toleranzsteuerung eingestellt. Eine optimale Einstellung des Vordrucks ist somit nicht oder nur durch weitere Maßnahmen, wie beispielsweise eine zusätzliche Betankungserkennung, möglich.

[0010] Des weiteren verändern sich die Systemeigenschaften der Drucksysteme während der Lebensdauer der Brennkraftmaschine, die mit den bekannten Regelungen nicht oder nur durch weiter erhöhte Toleranzen ausgeglichen werden können, was ebenfalls zu einem erhöhten Druckniveau im Kraftstoffversorgungssystem und damit zu einer unnötig hohen Leistungsaufnahme der Niederdruckpumpe führt.

[0011] Aus der DE 101 58 950 A1 ist ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine bekannt, wobei Kraftstoff von einer ersten Kraftstoffpumpe auf einen Vordruck verdichtet wird, welcher an einer Niederdruckseite einer zweiten Kraftstoffpumpe anliegt. Der gewünschte Solldruck wird mittels einer gespeicherten Temperatur-Druckbeziehung aus einer aktuellen Temperatur des Kraftstoffs in der zweiten Kraftstoffpumpe ermittelt. Der Vordruck wird von einem ursprünglichen Wert, welcher auf einer Standard-Temperatur/Druckbeziehung basiert abgesenkt und das Absenken des Vordrucks beendet, wenn eine Kavitation in der zweiten Kraftstoffpumpe ein-

zulässiges Maß überschreitet, wobei eine Differenz zwischen den ursprünglichen Vordruck und dem abgesenkten Vordruck zur Adaption der Standardtemperatur/Druckbeziehung verwendet wird,

[0012] Aus der DE 103 00 929 A1 ist ein Kraftstoffeinspritzsystem bekannt, wobei der Förderdruck einer ersten Pumpe in Abhängigkeit von der Kraftstofftemperatur und den Verdampfungsverhalten des Kraftstoffs eingestellt wird.

[0013] Aus der DE 102 00 795 A1 ist ein Kraftstoffsystem einer Brennkraftmaschine bekannt, bei dem eine geschätzte Temperatur bei der Steuerung und/oder Regelung mindestens einer Komponente des Kraftstoffsystems berücksichtigt wird. Zur Vermeidung von Kavitationen einer Hochdruckpumpe wird mittels Adaption des Vordrucks als Funktion von gemessenen Kraftstofftemperaturen eine Vermeidung von Kavitation angestrebt.

[0014] Aus der DE 100 01 882 A1 ist ein Verfahren zur Vermeidung von Kavitation in einer Hochdruckpumpe mittels Adaption des Vordrucks in Abhängigkeit von gemessenen Kraftstofftemperatur bekannt.

[0015] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine einfache, genaue und sichere Einstellung des durch eine Niederdruckpumpe erzeugten Vordrucks zur Förderung von Kraftstoff für einen Verbrennungsmotor zu gewährleisten.

[0016] Die Lösung der Aufgabe gelingt mit einem Verfahren gemäß Anspruch 1 und einer Vorrichtung gemäß Anspruch 14.

[0017] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Kraftstoffversorgung von Verbrennungsmotoren, bei welchem eine Niederdruckpumpe und eine Hochdruckpumpe den Kraftstoff für den Verbrennungsmotor fördern, wobei die Niederdruckpumpe eine Fördermenge an Kraftstoff für die Hochdruckpumpe bereitstellt und einen an der Hochdruckpumpe anliegenden Vordruck erzeugt und die Hochdruckpumpe die Fördermenge mit einem Einspritzdruck in einem Einspritzsystem des Verbrennungsmotors bereitstellt und bei welchem der Vordruck auf einen durch die Dampfdruckkurve eines Kraftstoffs bestimmten, variablen Soll-Vordruck eingestellt wird, der Einspritzdruck mit einem Hochdruckregler geregelt wird und ein mit dem Soll-Vordruck korrespondierender Ansteuerwert der Niederdruckpumpe mit einem Adaptionswert korrigiert wird ist dadurch gekennzeichnet, dass der Adaptionswert in einem Adaptionsmodus der Kraftstoffversorgung ermittelt wird, wobei im Adaptionsmodus der Vordruck verändert wird, bis sich Dampfblasen vor der Hochdruckpumpe bilden, die Bildung von Dampfblasen durch die Änderung einer Reglerantwort des Hochdruckreglers detektiert werden und bei einer Detektion von Dampfblasen aktuelle Verfahrensparameter, vorzugsweise Leistungsmerkmale der Niederdruckpumpe und die Temperatur des Kraftstoffs, ermittelt werden, aus welchen der Adaptionswert abgeleitet wird. Der mit dem Adaptionswert eingestellte Soll-Vordruck ist dabei immer höher als der Dampfdruck des Kraftstoffs. Im Adaptionsmodus werden dabei die Dampfblasen derart erzeugt,

dass die volle Funktion des Motors in jeder Phase gegeben ist. Um dies zu gewährleisten, ist die Dampfblasenbildung vorzugsweise nur sehr kurz bzw. im Ansatz vorhanden. Erfindungsgemäß wird der Vordruck im Adaptionsmodus durch eine Schwingungsaufprägung auf den mit dem Soll-Vordruck korrespondierenden Ansteuerwert der Niederdruckpumpe verändert, so dass auf die Förderleistung der Niederdruckpumpe eine Schwingung aufgeprägt wird. Während dieser Druckschwingung ist die Hochdruckreglerüberwachung aktiv. Kommt es im Schwingungstal zu einer Dampfblasenbildung vor der Hochdruckpumpe, wird dies durch die Änderung der Reglerantwort detektiert. Tritt keine Veränderung des Reglerwertes auf, wird der Soll-Vordruck um einen definierten Wert abgesenkt und der Adaptionsmodus fortgesetzt, bis eine Detektion von Dampfblasen erfolgt ist. Der Soll-Vordruck wird insbesondere durch die Absenkung eines anliegenden Adaptionsstartwertes abgesenkt. Um sicher zu stellen, dass der abgesenkte Adaptionsstartwert den Soll-Vordruck nicht dauerhaft bis zu einer Dampfblasenbildung absenkt, wird vorzugsweise der bei Dampfblasenbildung ermittelte abgesenkte Adaptionsstartwert um einen definierten Wert hoch gesetzt und so aus dem abgesenkten Adaptionsstartwert der Adaptionswert abgeleitet.

[0018] Die aufgeprägte Schwingung stellt im Adaptionsmodus den Vordruck so ein, dass sich stets nur kurzzeitig Dampfblasen im Kraftstoff bilden können und damit ein Druckeinbruch im Hochdrucksystem vermieden wird.

[0019] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Kraftstoffversorgung eines Verbrennungsmotors umfasst zumindest ein geregeltes Hochdrucksystem und ein gesteuertes Niederdrucksystem. Das geregelte Hochdrucksystem weist zumindest ein Einspritzsystem zum Einspritzen von Kraftstoff in den Verbrennungsmotor, eine Hochdruckpumpe zum Fördern von Kraftstoff aus dem Niederdrucksystem in das Einspritzsystem und einen Hochdruckregler zur Regelung eines Einspritzdruckes im Einspritzsystem auf. Das gesteuerte Niederdrucksystem weist zumindest eine Niederdruckpumpe zum Fördern von Kraftstoff aus einem Tank in das Hochdrucksystem, eine Steuereinheit zur Einstellung eines durch die Dampfdruckkurve eines Kraftstoffs vorgegebenen variablen Soll-Vordrucks im Niederdrucksystem mit einer Adaptionseinheit zum Erzeugen eines Adaptionswertes in einem Adaptionsmodus zur Korrektur des vorgegebenen Soll-Vordruckes auf. Die Adaptionseinheit weist dabei zumindest eine Einheit zum Auslösen des Adaptionsmodus, bei welchem ein Vordruck im Niederdrucksystem variiert wird, Mittel zum Erfassen der Änderung einer Reglerantwort des Hochdruckreglers im Adaptionsmodus bei der Bildung von Dampfblasen im Niederdrucksystem, Mittel zum Erfassen von Verfahrensparametern und eine Einheit zum Ableiten des Adaptionswertes aus den erfassten Verfahrensparametern sowie Mittel um den Vordruck im Adaptionsmodus durch eine Schwingungsaufprägung auf den mit dem Soll-Vordruck korrespondierenden Ansteuerwert der Niederdruckpumpe zu

verändern. Durch letztere Maßnahme wird auf die Förderleistung der Niederdruckpumpe eine Schwingung aufgeprägt.

[0020] Als Verbrennungsmotoren, welche mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Kraftstoff versorgt werden, kommen sowohl Dieselmotoren als auch fremdgezündete Motoren in Betracht.

[0021] Mit Hilfe des Hochdruckreglers wird erfindungsgemäß in einem Adoptionsmodus eine Aussage über das Ausgasungsverhalten des Kraftstoffs und den Zustand der Niederdruckpumpe getroffen. Sobald sich im Adoptionsmodus vor der Hochdruckpumpe Dampfblasen bilden, verschlechtert sich der Liefergrad der Hochdruckpumpe. Der Hochdruckregler zeigt stets eine deutliche Reglerantwort auf den sich verschlechternden Liefergrad. Diese Reglerantwort wird verwendet, um einen Adoptionswert zur Korrektur des von der Niederdruckpumpe einzustellenden Soll-Vordruckes zu ermitteln.

[0022] Der Hochdruckregler regelt vorzugsweise den Einspritzdruck im Einspritzsystem mittels einer mengengeregelten Hochdruckpumpe. Das Einspritzsystem ist dabei vorzugsweise als Common-Rail-System (System mit gemeinsamer Leitung) ausgeführt. Die Druckerzeugung und die Kraftstoffeinspritzung sind beim Common-Rail-System voneinander getrennt bzw. entkoppelt. Die Hochdruckpumpe erzeugt kontinuierlich einen bestimmten Hochdruck, welcher im Einspritzsystem als Einspritzdruck permanent zur Verfügung steht. Der Hochdruck wird in der gemeinsamen Leitung des Einspritzsystems geregelt und gespeichert und über kurze Einspritzleitungen den Injektoren zum Einspritzen des Kraftstoffs in die Zylinder des Motors zur Verfügung gestellt. Dabei wird üblicherweise ein Hochdruck im zweistelligen Mpa Bereich in der Leitung erzeugt.

[0023] In einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung, bei welcher die Kraftstoffversorgung rücklauffrei d.h. ohne Kraftstoffrückführung erfolgt, wird zur Förderung des Kraftstoffs von der Hochdruckpumpe, welche insbesondere als Hub-Kolbenpumpe ausgeführt ist, bei der Abwärtsbewegung des Kolbens ein Volumen an Kraftstoff über ein geöffnetes Mengensteuerventil, welches zwischen der Hoch- und der Niederdruckpumpe angeordnet ist, in den Hubraum der Pumpe gefördert. Bei einer Aufwärtsbewegung des Kolbens und geschlossenem Mengensteuerventil wird der Kraftstoff verdichtet und in das Einspritzsystem gefördert. Die Druckerfassung erfolgt dabei vorzugsweise über einen im Einspritzsystem angeordneten Hochdrucksensor. Die Einstellung des Soll-Einspritzdruckes erfolgt mittels der Hochdruckregelung, bei welcher das Mengensteuerventil als Stellglied verwendet wird.

[0024] Zum Ermitteln des Adoptionswertes wird der Vordruck verändert, insbesondere durch schrittweises Absenken der Förderleistung der Niederdruckpumpe, die vorzugsweise als elektrische Kraftstoffpumpe ausgeführt ist, gesenkt, bis Dampfblasen im System detektiert werden. Die Dampfblasenbildung hängt mit dem spezi-

fischen Dampfdruck, d.h. mit dem spezifischen Druck des gesättigten Dampfes des Kraftstoffes zusammen. Dieser setzt sich aus der Summe der Partialdrücke seiner einzelnen Bestandteile zusammen und ist von der Temperatur abhängig. Wird der Vordruck im Niederdrucksystem geringer als der spezifische Dampfdruck des Kraftstoffs, bilden sich Dampfblasen. Im Adoptionsmodus wird sich zielgerichtet an die Dampfdruckgrenze des Kraftstoffs herangetastet, bis der Liefergrad der Hochdruckpumpe sich signifikant verschlechtert und eine definierte Abweichung der Reglerantwort erreicht wird.

[0025] Besteht der in den Hub- bzw. Kompressionsraum der Hochdruckpumpe eingefüllte Kraftstoff in Anteilen aus Dampfblasen, muss beispielsweise ein zusätzliches Kompressionsvolumen zum Zusammenschieben der Dampfblasen zur Verfügung gestellt werden, um die gleiche Menge Kraftstoff zu fördern. Die Änderung dieser Reglerantwort kann vorzugsweise zur Detektierung von Dampfblasen genutzt werden.

[0026] In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird der Vordruck im Adoptionsmodus solange schrittweise, mit oder ohne Schwingungsaufprägung, abgesenkt, bis eine vorgegebene maximal zulässige Änderung der Reglerantwort oder ein minimal zulässiger Vordruck erreicht wird. Dabei wird vorzugsweise beim Start des Adoptionsmodus der Soll-Vordruck aus der Dampfdruckkurve des im schlechtesten Fall anzunehmenden Kraftstoffs vorgegeben. Die Dampfdruckkurve zeigt die Temperaturabhängigkeit des Dampfdrucks und ist im Druck-Temperatur-Diagramm als Grenzkurve zwischen den zwei Phasen flüssig und gasförmig dargestellt. Die Dampfdruckkurve ist abhängig von der Kraftstoffart. Der im schlechtesten Fall anzunehmende Kraftstoff, ist der Kraftstoff mit der höchsten Flüchtigkeit, beispielsweise frisch getankter Winterkraftstoff mit einem Dampfdruck von 12 bis 14 PSI.

[0027] Bei Erreichen der vorgegebenen maximal zulässigen Änderung der Reglerantwort wird in einer vorteilhaften Ausführung der aktuelle Wert der Förderleistung der Niederdruckpumpe und der aktuelle Wert der Temperatur des Kraftstoffs mit geeigneten Mitteln erfasst und aus diesen Werten der Adoptionswert in der Einheit zum Ableiten des Adoptionswertes ermittelt. Die Ermittlung erfolgt vorzugsweise über Kennfelder mit Kennlinien, die für bestimmte Förderleistungen und Temperaturen die zugehörigen Adoptionswerte vorgeben.

[0028] Bei Erreichen der vorgegebenen maximal zulässigen Änderung der Reglerantwort wird in einer weiteren vorteilhaften Ausführung der aktuelle Wert des abgesenkten Vordrucks erfasst, um einen definierten Wert erhöht und daraus aktuelle Adoptionswert abgeleitet.

[0029] Der Adoptionswert wird vorzugsweise gespeichert und für eine Berechnung der Förderleistungsanforderung der Niederdruckpumpe verwendet.

Der ermittelte Adoptionswert repräsentiert sowohl die Toleranzlage der Niederdruckpumpe als auch die aktuelle Ausgasungsaktivität des Kraftstoffs. Veränderungen hinsichtlich der Ausgasungsaktivität und der Pumpenei-

genschaften werden damit berücksichtigt und die Niederdruckpumpe kann bei Einstellung des mit dem ermittelten Adaptionwert korrigierten Soll-Vordrucks mit optimaler niedriger Leistungsaufnahme arbeiten.

[0030] Der Adaptionwert wird nicht ständig während der Kraftstoffversorgung ermittelt, sondern in einem Adaptionmodus, der vorzugsweise in regelmäßigen Abständen oder durch definierte Randbedingungen durch eine Einheit zum Auslösen des Adaptionmodus ausgelöst wird, beispielsweise dann, wenn der Motor eine definierte Zeit betrieben worden ist, getankt worden ist oder nach längerer Stillstandzeit neu gestartet wird. Wobei der Adaptionmodus vorzugsweise erst dann gestartet wird, wenn stabile Betriebs- bzw. Systembedingungen vorliegen, insbesondere wenn der Kraftstoffmassenfluss und die Temperatur des Kraftstoffs vor der Hochdruckpumpe stabil sind. Nach der Ermittlung des Adaptionwertes wird der Adaptionmodus wieder verlassen und die Kraftstoffversorgung läuft im normalen Betrieb, wobei im Niederdrucksystem der korrigierte Soll-Vordruck-Verlauf eingestellt wird und der Einspritzdruck im Hochdrucksystem geregelt wird. Eine angemessene Häufigkeit des Adaptionmodus stellt sicher, dass Veränderungen hinsichtlich der Kraftstoffqualität und Eigenschaften der Niederdruckpumpe rechtzeitig berücksichtigt werden.

[0031] Die Erfindung wird im weiteren an Hand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigt dazu

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Kraftstoffversorgungssystems gemäß Beispiel A und B

Fig. 2 eine schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Steuerung der Niederdruckpumpe mit einem Adaptionmodus gem. Fig. 4 (Beispiel A)

Fig. 3 eine schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Steuerung der Niederdruckpumpe mit einem Adaptionmodus gem. Fig. 5 (Beispiel B)

Fig. 4 schematische Darstellung des Adaptionmodus ohne Schwingungsaufprägung (Beispiel A)

Fig. 5 schematische Darstellung des Adaptionmodus mit Schwingungsaufprägung (Beispiel B)

Beispiel A : Adaptionmodus ohne Schwingungsaufprägung

[0032] Fig. 1 zeigt einen schematischen Aufbau eines beispielhaften erfindungsgemäßen Kraftstoffversorgungssystems mit einem geregelten rücklauffreien Hochdrucksystem 1 und einem gesteuerten Niederdrucksystem 2 zur Versorgung eines direkt einspritzenden Verbrennungsmotors 4 mit Kraftstoff aus einem Tank (nicht dargestellt).

[0033] Die Niederdruckpumpe 7 ist als elektrische Kraftstoffpumpe ausgebildet und fördert den Kraftstoff aus einem Tank zur Hochdruckpumpe 5. Der von der Niederdruckpumpe 7 geförderte Kraftstoff liegt mit einem Vordruck an der Hochdruckpumpe 5 an.

[0034] Das Hochdrucksystem 1 ist ein geregeltes System. Die Hochdruckpumpe 5 ist als mengengeregelte Hub-Kolbenpumpe mit einem Mengensteuerventil 19 ausgeführt und versorgt das Einspritzsystem 3 mit Kraftstoff. Das Einspritzsystem 3 ist als Common-Rail-System ausgeführt, so dass die Hochdruckpumpe 5 einen permanenten hohen Einspritzdruck im Einspritzsystem 3 erzeugt. Der Hochdruckregler 6 regelt den Einspritzdruck, wobei der Ist-Einspritzdruck über einen im Einspritzsystem 3 angeordneten Hochdrucksensor 20 erfasst wird und im Hochdruckregler 6 zu einem Stellsignal für das Mengensteuerventil 19 verarbeitet wird.

[0035] Zum Befüllen des Hub- bzw. Kompressionsraumes der Hochdruckpumpe 5 bewegt sich der Kolben der Hochdruckpumpe abwärts, wobei das Mengensteuerventil 19 geöffnet ist und Kraftstoff aus dem Niederdrucksystem 2 in das Hochdrucksystem 1 gefördert wird. Der Liefergrad ist dabei abhängig vom Vordruck und der Qualität des Kraftstoffs. Bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens der Hochdruckpumpe 5 wird der Kraftstoff nur dann komprimiert, wenn das Mengensteuerventil 19 geschlossen ist. Die Zeitdauer, die das Mengensteuerventil 19 geschlossen bleibt, bestimmt die in das Einspritzsystem 3 geförderte Menge an Kraftstoff.

[0036] Das Niederdrucksystem 2 ist ein gesteuertes System. Der Soll-Vordruck des gesteuerten Niederdrucksystems 2 wird variabel durch die Dampfdruckkurve 9 des im schlechtesten Fall anzunehmenden Kraftstoffs beispielsweise Winterkraftstoff mit 12 bis 14 PSI und einen in einem Adaptionmodus ermittelten Adaptionwert durch die Steuereinheit 8 vorgegeben. Der Adaptionwert repräsentiert dabei sowohl die aktuelle Toleranzlage der Niederdruckpumpe 7, als auch die aktuelle Kraftstoffqualität.

[0037] Die Steuerung des Niederdrucksystems 2 ist in Fig. 2 dargestellt. Mit der Summe des sich aus der Dampfdruckkurve 9 ergebenden Druckwertes und des Adaptionwertes sowie der aktuellen Kraftstoffdurchflussmenge wird ein Vorsteuerkennefeld 16 adressiert. Das Vorsteuerkennefeld 16 beinhaltet Werte für die Förderleistungsanforderung der Niederdruckpumpe 7 in Abhängigkeit von Druck und Kraftstoffdurchflussmenge. Der Wert für die Förderleistungsanforderung wird über die Spannungs-, die Startüberschwinger und die Schubabschaltungs-Korrektur 18 korrigiert und an die Leistungsstufe der Niederdruckpumpe 7 ausgegeben.

[0038] Der Adaptionwert wird in einem, in Fig. 4 schematisch dargestellten, Adaptionmodus mittels der Adaptionseinheit 10 ermittelt. Die Ermittlung erfolgt nicht kontinuierlich, sondern wird in einzelnen diskreten Ereignissen aktiv gelernt. Ein Lemereignis findet statt, wenn vorher definierte Randbedingungen erfüllt sind und in der Einheit zum Auslösen 11 des Adaptionmodus 12 Lem-

bedarf erkennt. Lembedarf wird erkannt, wenn der Verbrennungsmotor 4 nach einer Abstellzeit neu gestartet wird und der Tankfüllstand eine signifikante Änderung erfahren hat oder wenn der Verbrennungsmotor 4 eine definierte Zeit betrieben wurde. Zu den definierten Randbedingungen gehören ebenfalls stabile Betriebsbedingungen des Kraftstoffversorgungssystems, welche beispielsweise durch eingeschwungene Verfahrensparameter wie Temperatur des Kraftstoffs und Kraftstoffmassenfluss auf einem definierten Niveau erkannt werden.

[0039] Erkennt die Einheit zum Auslösen 11 ein Lernereignis, wird mittels eines Schalters 17 auf den Adoptionsmodus 12 umgeschaltet und gestartet. Dieser senkt die Förderleistungsanforderung (Fig.4, Kurve y2) der Niederdruckpumpe 7 schrittweise ab, wobei der Vordruck (Fig.4, Kurve y1) im Niederdrucksystem abfällt, bis sich Dampfblasen vor der Hochdruckpumpe 5 bilden. Als Kriterium der Detektion der Dampfblasenbildung wird eine bestimmte Änderung der Reglerantwort (Fig.4, Kurve y4) des Hochdruckreglers 6 verwendet. Besteht der in die Hochdruckpumpe 5 geförderte Kraftstoff in Anteilen aus Dampfblasen, muss das Mengensteuerventil 19 länger geschlossen bleiben, um die gleiche Menge an Kraftstoff in das Einspritzsystem 3 zu fördern. Es muss ein zusätzliches Kompressionsvolumen zum Zusammenschieben der Dampfblasen zur Verfügung gestellt werden, wodurch sich die Reglerantwort um einen bestimmten Druckwert erhöht. Die Änderung wird mit Mitteln zum Erfassen der Änderung der Reglerantwort 13 registriert, wobei bei einer Erhöhung der Reglerantwort um einen definierten Druckwert von beispielsweise 0,3 Mpa die Erfassung der zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Temperatur des Kraftstoffs (Fig.4, Kurve y3) vor der Hochdruckpumpe 5 und der an der Leistungsendstufe der Niederdruckpumpe 7 anliegenden Förderleistungsanforderung ausgelöst wird. Diese Parameter werden mit entsprechenden Mitteln zum Erfassen von Verfahrensparametern 14, insbesondere mit Mitteln zum Erfassen der Temperatur 14.2 und Mitteln zum Erfassen von Leistungsmerkmalen 14.1 der Niederdruckpumpe 7 ermittelt und in der Einheit zum Ableiten 15 gespeichert. Die abgespeicherten Werte der aktuellen Förderleistungsanforderung und Temperatur des Kraftstoffs werden in ein Kennfeld der Einheit zum Ableiten 15 eingelesen, wobei mit dem Kennfeld aus den abgespeicherten Werten ein aktueller Adaptionwert abgeleitet wird. Dieses Kennfeld kann beispielsweise vorher empirisch ermittelt worden sein. Alternativ kann anstelle des Kennfeldes auch eine empirisch ermittelte Formel Verwendung finden:

[0040] Der aktive Adoptionsmodus 12 wird danach wieder verlassen. Die Umstellung auf den normalen Betrieb erfolgt mit dem Schalter 17, wobei der früheste Zeitpunkt der Umstellung auf den normalen Betrieb der Zeitpunkt der Detektion von Dampfblasen ist und der späteste Zeitpunkt der Umstellung, der Zeitpunkt der Ermittlung des Adaptionwertes sein sollte, um den Liefergrad der Hochdruckpumpe 5 nicht signifikant zu verschlechtern.

[0041] Im normalen Betrieb erfolgt die Steuerung des Vordrucks des Niederdrucksystems 2 dann mit einem korrigierten Soll-Vordruck, der sich aus der Summe des sich aus der Dampfdruckkurve 9 ergebenden Druckwertes in Abhängigkeit von der Temperatur des Kraftstoffs vor der Hochdruckpumpe und dem aktuell ermittelten Adaptionwert ergibt.

Beispiel B: Adoptionsmodus mit Schwingungsaufprägung

[0042] Das Kraftstoffversorgungssystems im Beispiel B besteht, analog zu Beispiel A ebenfalls aus einem geregelten rücklauffreien Hochdrucksystem 1 und einem gesteuerten Niederdrucksystem 2, wie in Fig. 1 dargestellt. Die Funktionsweise unterscheidet sich durch die Ausführung des Adoptionsmodus mit einer Schwingungsaufprägung auf die Förderleistungsanforderung der Niederdruckpumpe 7.

[0043] Das Hochdrucksystem 1 ist, wie bereits in Beispiel A ausgeführt, ein geregeltes System.

[0044] Das Niederdrucksystem 2 ist ein gesteuertes System und in Fig.3 schematisch dargestellt. Der Soll-Vordruck des gesteuerten Niederdrucksystems 2 wird variabel durch die Dampfdruckkurve 9 vorgegeben, indem die Temperatur des Kraftstoffs vor der Hochdruckpumpe 5 mit Mitteln zum Erfassen der Temperatur 14.2 erfasst wird und an ein durch die Dampfdruckkurve 9 des im schlechtesten Fall anzunehmenden Kraftstoffs, beispielsweise Winterkraftstoff mit 12 bis 14 PSI, vorgegebenes Kennfeld eingelesen wird, daraus ein Druckwert abgeleitet und ein Adaptionwert addiert wird. Der Adoptionsstartwert und/oder in einem Adoptionsmodus ermittelte Adaptionwert wird durch die Adaptionseinheit 10 vorgegeben. Der im Adoptionsmodus ermittelte Adaptionwert repräsentiert dabei sowohl die aktuelle Toleranzlage der Niederdruckpumpe 7, als auch die aktuelle Kraftstoffqualität.

[0045] Mit dem korrigierten Soll-Vordruck wird ein Vorsteuerkennfeld 16 adressiert. Das Vorsteuerkennfeld 16 beinhaltet Werte für die Förderleistungsanforderung der Niederdruckpumpe 7 in Abhängigkeit vom Druck. Der Wert für die Förderleistungsanforderung wird über die Spannungs-, die Startüberschwinger und die Schubabschaltungs-Korrektur 18 korrigiert und an die Leistungsendstufe der Niederdruckpumpe 7 ausgegeben.

[0046] Der Adaptionwert wird in einem, in Fig. 5 schematisch dargestellten, Adoptionsmodus mittels der Adaptionseinheit 10 ermittelt. Die Ermittlung erfolgt nicht kontinuierlich, sondern wird, wie in Beispiel A ausgeführt, in einzelnen diskreten Ereignissen aktiv gelernt.

[0047] Erkennt die Einheit zum Auslösen 11 ein Lernereignis, wird der Adoptionsmodus 12 gestartet, wobei der anliegende Adoptionsstartwert in einem ersten Schritt unverändert bleibt und der Förderleistungsanforderung (Fig.5, Kurve y2) der Niederdruckpumpe 7 eine Schwingung aufgeprägt wird, wobei der Vordruck im Niederdrucksystem entsprechend variiert wird. Werden kei-

ne Dampfblasen detektiert, wird der vorgegebenen Adaptionstartwert (Fig. 5, Kurve y1) schrittweise abgesenkt, bis sich Dampfblasen vor der Hochdruckpumpe 5 bilden. Als Kriterium der Detektion der Dampfblasenbildung wird eine bestimmte Änderung der Reglerantwort (Fig.5, Kurve y3) des Hochdruckreglers 6 verwendet. Diese Änderung wird mit Mitteln zum Erfassen der Änderung der Reglerantwort 13 registriert, wobei bei einer Erhöhung der Reglerantwort um einen definierten Volumenwert der zu diesem Zeitpunkt vorliegende abgesenkte Adaptionstartwert erfasst wird. Dieser Verfahrensparameter wird in der Einheit zum Ableiten 15 gespeichert und um einen Sicherheitswert erhöht und damit der Adaptionstartwert abgeleitet.

[0048] Der aktive Adaptionsmodus 12 wird danach wieder verlassen. Im normalen Betrieb erfolgt die Steuerung des Vordrucks des Niederdrucksystems 2 dann mit einem korrigierten Soll-Vordruck, der sich aus der Summe des sich aus der Dampfdruckkurve 9 ergebenden Druckwertes und dem aktuell ermittelten Adaptionstartwert ergibt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kraftstoffversorgung eines Verbrennungsmotors, bei welchem

- eine Niederdruckpumpe und eine Hochdruckpumpe einen Kraftstoff für den Verbrennungsmotor fördern, wobei
- die Niederdruckpumpe eine Fördermenge an Kraftstoff für die Hochdruckpumpe bereitstellt und einen an der Hochdruckpumpe anliegenden Vordruck erzeugt und
- die Hochdruckpumpe die Fördermenge mit einem Einspritzdruck in einem Einspritzsystem des Verbrennungsmotors bereitstellt und bei welchem
- der Vordruck auf einen durch die Dampfdruckkurve eines Kraftstoffs bestimmten, variablen Soll-Vordruck eingestellt wird,
- der Einspritzdruck mit einem Hochdruckregler geregelt wird und
- ein mit dem Soll-Vordruck korrespondierender Ansteuerwert der Niederdruckpumpe mit einem Adaptionstartwert korrigiert wird
- der Adaptionstartwert in einem Adaptionsmodus ermittelt wird, wobei
- im Adaptionsmodus
- der Vordruck verändert wird, bis sich Dampfblasen vor der Hochdruckpumpe bilden,
- eine Bildung von Dampfblasen durch die Änderung einer Reglerantwort des Hochdruckreglers detektiert wird und
- bei einer Detektion von Dampfblasen ak-

tuelle Verfahrensparameter ermittelt werden, aus denen der Adaptionstartwert abgeleitet wird,
- wobei ein Soll-Vordruck eingestellt wird, der höher als der Dampfdruck des Kraftstoffs ist

dadurch gekennzeichnet, dass der Vordruck im Adaptionsmodus durch eine Schwingungsaufprägung auf den mit dem Soll-Vordruck korrespondierenden Ansteuerwert der Niederdruckpumpe verändert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Vordruck im Adaptionsmodus schrittweise abgesenkt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Adaptionstartwert in vorbestimmten Abständen bei stabilen Betriebsbedingungen durchgeführt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Adaptionstartwert nach einem Neustart des Motors bei stabilen Betriebsbedingungen durchgeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Soll-Vordruck aus der Dampfdruckkurve des im schlechtesten Fall anzunehmenden Kraftstoffs vorgegeben wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Vordruck im Adaptionsmodus abgesenkt wird, bis eine vorgegebene maximal zulässige Änderung der Reglerantwort erreicht wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Vordruck durch Absenken eines Adaptionstartwertes abgesenkt wird und der abgesenkte Adaptionstartwert als aktueller Verfahrensparameter ermittelt wird, aus dem der Adaptionstartwert abgeleitet wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Leistungsmerkmale der Niederdruckpumpe als aktuelle Verfahrensparameter ermittelt werden, aus denen der Adaptionstartwert abgeleitet wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Temperatur des Kraftstoffs als aktueller Verfahrensparameter ermittelt wird, aus dem der Adaptionstartwert abgeleitet wird.

10. Verfahren nach den Ansprüchen 8 und 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Erreichen der vorgegebenen maximal zulässigen Änderung der Reglerantwort der aktuelle Wert der Förderleistung der Niederdruckpumpe und der aktuelle Wert der Temperatur des Kraftstoffs erfasst werden und aus diesen Werten der Adaptionwert abgeleitet wird. 5
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Adaptionwert aus zumindest einem Kennfeld, welches Verfahrensparametern Adaptionswerte zuordnet, abgeleitet wird. 10
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Adaptionmodus nach Ermittlung des Adaptionwertes verlassen wird. 15
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bildung von Dampfblasen durch ein, sich als Reglerantwort ergebendes, zusätzlich aufzubringendes Kompressionsvolumen der Hochdruckpumpe zur Förderung einer gleichen Menge an Kraftstoff detektiert wird. 20 25
14. Vorrichtung zur Kraftstoffversorgung eines Verbrennungsmotors, zumindest umfassend
- ein geregeltes Hochdrucksystem (1) mit zumindest
 - einem Einspritzsystem (3) zum Einspritzen von Kraftstoff in den Verbrennungsmotor (4).
 - einer Hochdruckpumpe (5) zum Fördern von Kraftstoff aus einem Niederdrucksystem (2) in das Einspritzsystem (3) und
 - einem Hochdruckregler (6) zur Regelung eines Einspritzdruckes im Einspritzsystem (3)
- und
- ein gesteuertes Niederdrucksystem (2) mit zumindest
 - einer Niederdruckpumpe (7) zum Fördern von Kraftstoff aus einem Tank in das Hochdrucksystem (1) und
 - einer Steuereinheit (8) zur Einstellung eines, durch die Dampfdruckkurve (9) eines Kraftstoffs vorgegebenen, variablen Soll-Vordrucks im Niederdrucksystem (2), mit einer Adaptionseinheit (10) zum Erzeugen eines Adaptionwertes in einem Adaptionmodus (12) zur Korrektur des vorgegebenen Soll-Vordruckes, wobei die Adaptionseinheit (10) zumindest
 - eine Einheit zum Auslösen (11) des Adaptionmodus (12), bei welchem ein Vordruck im Niederdrucksystem verändert wird,
 - Mittel zum Erfassen der Änderung einer Reglerantwort (13) des Hochdruckreglers (6) im Adaptionmodus (12) bei der Bildung von Dampfblasen im Niederdrucksystem,
 - Mittel zum Erfassen von Verfahrensparametern (14)
 - eine Einheit zum Ableiten (15) des Adaptionwertes aus den erfassten Verfahrensparametern,
- dadurch gekennzeichnet, dass** Mittel vorgesehen sind die eine Veränderung des Vordrucks im Adaptionmodus durch eine Schwingungsaufprägung auf den mit dem Soll-Vordruck korrespondierenden Ansteuerwert der Niederdruckpumpe bewirken.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hochdruckregler (6) zur Regelung des Einspritzdruckes mit einem Mengensteuerventil (19), welches zwischen der Niederdruckpumpe (7) und der Hochdruckpumpe (5) angeordnet ist, und einem Hochdrucksensor (20), welcher im Einspritzsystem (3) angeordnet ist, verbunden ist
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hochdruckpumpe (6) eine Hub-Kolbenpumpe ist.
17. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel zum Erfassen der Änderung der Reglerantwort (13), Mittel zum Erfassen eines zusätzlich aufzubringendes Kompressionsvolumen der Hochdruckpumpe zur Förderung einer gleichen Menge an Kraftstoff bei der Bildung von Dampfblasen sind.
18. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Niederdruckpumpe (7) eine elektrische Kraftstoffpumpe ist.
19. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel zum Erfassen von Verfahrensparametern (14), Mittel zum Erfassen von Leistungsmerkmalen (14.1) der Niederdruckpumpe umfassen.
20. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel zum Erfassen von Verfahrensparametern (14) Mittel zum Erfassen der Temperatur (14.2) des Kraftstoffs umfassen.
21. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden An-

sprüche 14 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einheit zum Ableiten (15) des Adaptionswertes zumindest ein Kennfeld, welches Verfahrensparametern Adaptionswerte zuordnet, aufweist.

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Einspritzsystem (3) ein Common-Rail-System ist.

Claims

1. Method for supplying fuel to an internal combustion engine, in which method

- a low-pressure pump and a high-pressure pump deliver a fuel for the internal combustion engine,
- the low-pressure pump provides a delivery quantity of fuel for the high-pressure pump and generates a pilot pressure which prevails at the high-pressure pump, and
- the high-pressure pump provides the delivery quantity at an injection pressure in an injection system of the internal combustion engine, and in which method
 - the pilot pressure is set to a variable setpoint pilot pressure which is defined by the vapour pressure curve of a fuel,
 - the injection pressure is regulated by way of a high-pressure regulator, and
 - an actuating value of the low-pressure pump, which actuating value corresponds to the setpoint pilot pressure, is corrected with an adaptation value,
 - the adaptation value is determined in an adaptation mode,
 - in the adaptation mode,
 - the pilot pressure being changed until vapour bubbles form upstream of the high-pressure pump,
 - a formation of vapour bubbles being detected by the change in a regulator response of the high-pressure regulator, and
 - in the case of a detection of vapour bubbles, actual method parameters being determined, from which the adaptation value is derived,
 - a setpoint pilot pressure being set which is higher than the vapour pressure of the fuel,

characterized in that the pilot pressure is changed in the adaptation mode by impressing an oscillation onto the actuating value of the low-pressure pump, which actuating value corresponds to the setpoint pilot pressure.

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the pilot pressure is lowered step by step in the adaptation mode.

- 5 3. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the adaptation mode is carried out at predefined intervals in the case of stable operating conditions.

- 10 4. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the adaptation mode is carried out after a re-start of the engine in the case of stable operating conditions.

- 15 5. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the setpoint pilot pressure is predefined from the vapour pressure curve of the fuel which is to be assumed in the worst case.

- 20 6. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the pilot pressure is lowered in the adaptation mode until a predefined maximum permissible change in the regulator response is achieved.

- 25 7. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the pilot pressure is lowered by lowering of an adaptation starting value, and the lowered adaptation starting value is determined as an actual method parameter, from which the adaptation value is derived.

- 30 8. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** performance characteristics of the low-pressure pump are determined as actual method parameters, from which the adaptation value is derived.

- 35 9. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the temperature of the fuel is determined as an actual method parameter, from which the adaptation value is derived.

- 40 10. Method according to Claims 8 and 9, **characterized in that**, when the predefined maximum permissible change in the regulator response is reached, the actual value of the delivery rate of the low-pressure pump and the actual value of the temperature of the fuel are detected, and the adaptation value is derived from these values.

- 45 11. Method according to one of preceding Claims 8 to 10, **characterized in that** the adaptation value is derived from at least one characteristic diagram which assigns adaptation values to method parameters.

- 50 12. Method according to one of the preceding claims,

characterized in that the adaptation mode is quit after determination of the adaptation value.

13. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the formation of vapour bubbles is detected by way of a compression volume, to be additionally applied and resulting as a regulator response, of the high-pressure pump in order to deliver an identical quantity of fuel.

14. Apparatus for supplying fuel to an internal combustion engine, at least comprising

- a regulated high-pressure system (1) having at least

- an injection system (3) for injecting fuel into the internal combustion engine (4),
- a high-pressure pump (5) for delivering fuel from a low-pressure system (2) into the injection system (3), and
- a high-pressure regulator (6) for regulating an injection pressure in the injection system (3),

and

- a controlled low-pressure system (2) having at least

- a low-pressure pump (7) for delivering fuel from a tank into the high-pressure system (1), and
- a control unit (8) for setting a variable setpoint pilot pressure in the low-pressure system (2), which variable setpoint pilot pressure is predefined by the vapour pressure curve (9) of a fuel, with an adaptation unit (10) for generating an adaptation value in an adaptation mode (12) for correcting the predefined setpoint pilot pressure, the adaptation unit (10) having at least
 - a unit for triggering (11) the adaptation mode (12), in which a pilot pressure in the low-pressure system is changed,
 - means for detecting the change in a regulator response (13) of the high-pressure regulator (6) in the adaptation mode (12) in the case of the formation of vapour bubbles in the low-pressure system,
 - means for detecting method parameters (14),
 - a unit for deriving (15) the adaptation value from the detected method parameters,

characterized in that means are provided which bring about a change in the pilot pressure in the adaptation mode by impressing an oscillation onto the

actuating value of the low-pressure pump, which actuating value corresponds to the setpoint pilot pressure.

- 5 15. Apparatus according to Claim 14, **characterized in that**, in order to regulate the injection pressure, the high-pressure regulator (6) is connected to a quantity control valve (19), which is arranged between the low-pressure pump (7) and the high-pressure pump (5), and to a high-pressure sensor (20) which is arranged in the injection system (3).

- 10 16. Apparatus according to either of Claims 14 and 15, **characterized in that** the high-pressure pump (5) is a reciprocating piston pump.

- 15 17. Apparatus according to one of preceding Claims 14 to 16, **characterized in that** the means for detecting the change in the regulator response (13) are means for detecting a compression volume, to be additionally applied, of the high-pressure pump in order to deliver an identical quantity of fuel in the case of the formation of vapour bubbles.

- 20 18. Apparatus according to one of preceding Claims 14 to 17, **characterized in that** the low-pressure pump (7) is an electric fuel pump.

- 25 19. Apparatus according to one of preceding Claims 14 to 18, **characterized in that** the means for detecting method parameters (14) comprise means for detecting performance characteristics (14-1) of the low-pressure pump.

- 30 20. Apparatus according to one of preceding Claims 14 to 19, **characterized in that** the means for detecting method parameters (14) comprise means for detecting the temperature (14.2) of the fuel.

- 35 21. Apparatus according to one of preceding Claims 14 to 20, **characterized in that** the unit for deriving (15) the adaptation value has at least one characteristic diagram which assigns adaptation values to method parameters.

- 40 22. Apparatus according to one of Claims 14 to 21, **characterized in that** the injection system (3) is a common rail system.

Revendications

- 45 1. Procédé d'alimentation en carburant d'un moteur à combustion interne, dans lequel :

50 - une pompe à basse pression et une pompe à haute pression extraient un carburant destiné au moteur à combustion interne ;

- la pompe à basse pression mettant à disposition une quantité d'extraction de carburant pour la pompe à haute pression et produisant une prépression au niveau de la pompe à haute pression ;
 - la pompe à haute pression mettant à disposition la quantité d'extraction à une pression d'injection dans un système d'injection du moteur à combustion interne ; et
 - la prépression étant réglée à une prépression théorique variable définie par la courbe de pression de vapeur d'un carburant ;
 - la pression d'injection étant réglée à l'aide d'un régulateur de haute pression ; et
 - une valeur d'excitation de la pompe à basse pression correspondant à la prépression théorique étant corrigée par le biais d'une valeur d'adaptation ;
 - la valeur d'adaptation étant calculée dans un mode d'adaptation ;
 - dans le mode d'adaptation :
 - la prépression étant modifiée jusqu'à ce que des bulles de vapeur se forment devant la pompe à haute pression ;
 - une formation de bulles de vapeur étant détectée par la variation d'une réponse de régulateur du régulateur de haute pression ; et
 - des paramètres actuels de procédé sont calculés en cas de détection de bulles de vapeur permettant de déduire la valeur d'adaptation ;
 - une prépression théorique supérieure à la pression de vapeur du carburant étant réglée ;
- caractérisé en ce que** la prépression est modifiée dans le mode d'adaptation par une intervention sur la valeur d'excitation de la pompe à basse pression correspondant à la prépression théorique.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la prépression est abaissée par paliers dans le mode d'adaptation.
 3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le mode d'adaptation est mis en oeuvre à des intervalles prédéfinis en présence de conditions de fonctionnement stables.
 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le mode d'adaptation est mis en oeuvre après un redémarrage du moteur en présence de conditions de fonctionnement stables.
 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la prépression théorique est prédéfinie à partir de la courbe de pression de vapeur du carburant à admettre dans le pire des cas.
 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la prépression est abaissée dans le mode d'adaptation jusqu'à atteindre une variation maximale prédéfinie de la réponse de régulateur.
 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la prépression est abaissée par abaissement d'une valeur d'adaptation initiale et que la valeur d'adaptation initiale abaissée calculée sert de paramètre actuel de procédé permettant de déduire la valeur d'adaptation.
 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les caractéristiques de puissance calculées de la pompe à basse pression servent de paramètres actuels de procédé permettant de déduire la valeur d'adaptation.
 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la température du carburant calculée sert de paramètre actuel de procédé permettant de déduire la valeur d'adaptation.
 10. Procédé selon les revendications 8 et 9, caractérisé en ce lorsque la variation maximale admise prédéfinie de la réponse de régulateur est atteinte, la valeur actuelle de la puissance d'extraction de la pompe à basse pression et la valeur actuelle de la température du carburant sont déterminées et que ces valeurs permettent de déduire la valeur d'adaptation.
 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, **caractérisé en ce que** la valeur d'adaptation est déduite à partir d'au moins une caractéristique associant les valeurs d'adaptation aux paramètres de procédé.
 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le mode d'adaptation est quitté après calcul de la valeur d'adaptation.
 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la formation de bulles de vapeur est détectée par un volume de compression de la pompe à haute pression à appliquer en sus et servant de réponse de régulateur, pour permettre d'extraire une même quantité de carburant.

14. Dispositif d'alimentation en carburant d'un moteur à combustion interne, comprenant au moins :

- un système à haute pression (1) réglé doté d'au moins :

- un système d'injection (3) servant à injecter du carburant dans le moteur à combustion interne (4) ;

- une pompe à haute pression (5) servant à transporter du carburant du système à basse pression (2) dans le système d'injection (3) ; et

- un régulateur de haute pression (6) servant à régler une pression d'injection dans le système d'injection (3) ; et

- un système à basse pression (2) commandé doté d'au moins :

- une pompe à basse pression (7) servant à transporter du carburant d'un réservoir dans le système à haute pression (1) ; et

- une unité de commande (8) servant à régler une prépression théorique variable prédéfinie par la courbe de pression de vapeur (9) d'un carburant dans le système à basse pression (2), avec une unité d'adaptation (10) servant à produire une valeur d'adaptation dans un mode d'adaptation (12) en vue de corriger la prépression théorique prédéfinie, l'unité d'adaptation (10) comportant au moins :

- une unité de déclenchement (11) du mode d'adaptation (12) dans laquelle une prépression est modifiée dans le système à basse pression ;

- des moyens de détection de la variation d'une réponse de régulateur (13) du régulateur de haute pression (6) dans le mode d'adaptation (12) dans lequel des bulles de vapeur se forment dans le système à basse pression ;

- des moyens de détection des paramètres de procédé (14) ;

- une unité de déduction (15) de la valeur d'adaptation à partir des paramètres de procédé détectés ;

caractérisé en ce qu'il prévoit des moyens provoquant une variation de la prépression dans le mode d'adaptation par une intervention sur la valeur d'excitation de la pompe à basse pression correspondant à la prépression théorique.

15. Dispositif selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** pour régler la pression d'injection, le régulateur de haute pression (6) est relié à une soupape

de commande de quantité (19) disposée entre la pompe à basse pression (7) et la pompe à haute pression (5) ainsi qu'à un capteur de haute pression (20) disposé dans le système d'injection (3).

16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 14 ou 15, **caractérisé en ce que** la pompe à haute pression (5) est une pompe à piston.

17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 14 à 16, **caractérisé en ce que** les moyens de détection de la variation de la réponse de régulateur (13) sont des moyens de détection d'un volume de compression de la pompe à haute pression à appliquer en sus en vue d'extraire une quantité égale de carburant en présence de formation de bulles de vapeur.

18. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 14 à 17, **caractérisé en ce que** la pompe à basse pression (7) est une pompe à carburant électrique.

19. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 14 à 18, **caractérisé en ce que** les moyens de détection des paramètres de procédé (14) comprennent des moyens de détection des caractéristiques de puissance (14.1) de la pompe à basse pression.

20. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 14 à 19, **caractérisé en ce que** les moyens de détection de paramètres de procédé (14) comprennent des moyens de détection de la température (14.2) du carburant.

21. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 14 à 20, **caractérisé en ce que** l'unité de déduction (15) de la valeur d'adaptation comporte au moins une caractéristique associant les valeurs d'adaptation aux paramètres de procédé.

22. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 14 à 21, **caractérisé en ce que** le système d'injection (3) est un système à rampe commune.

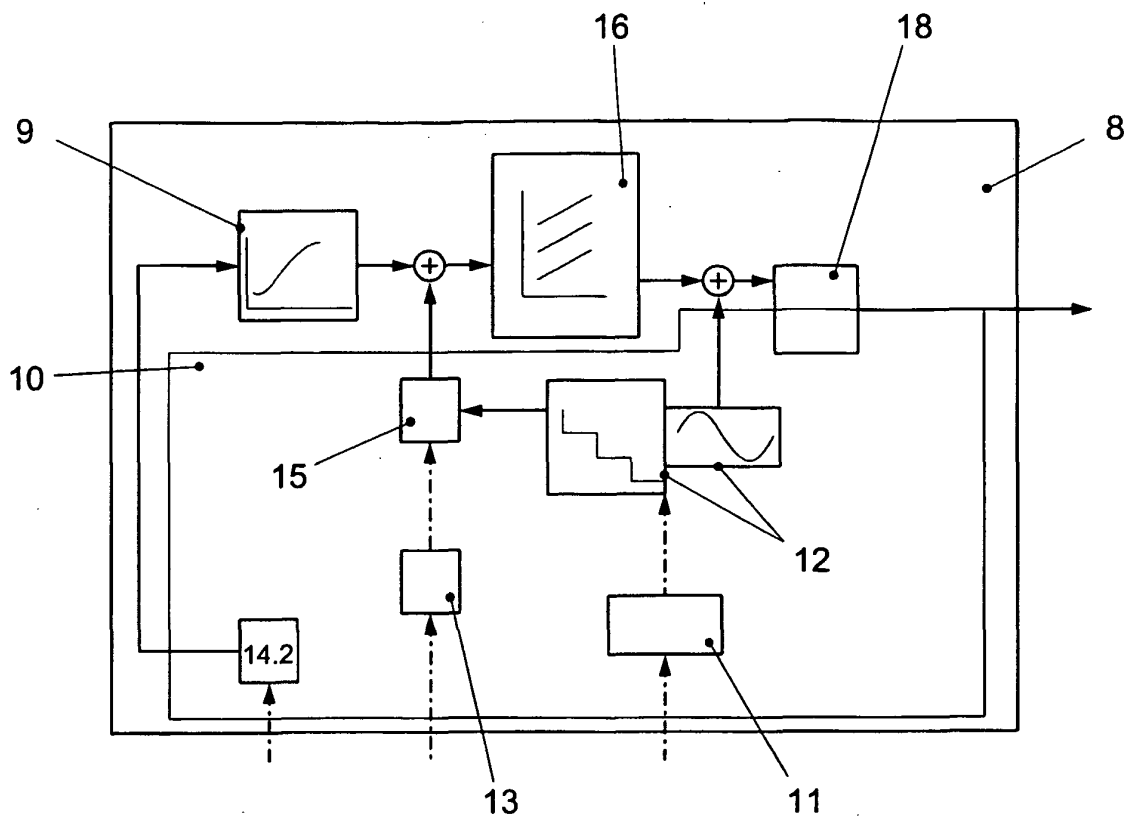


FIG. 3

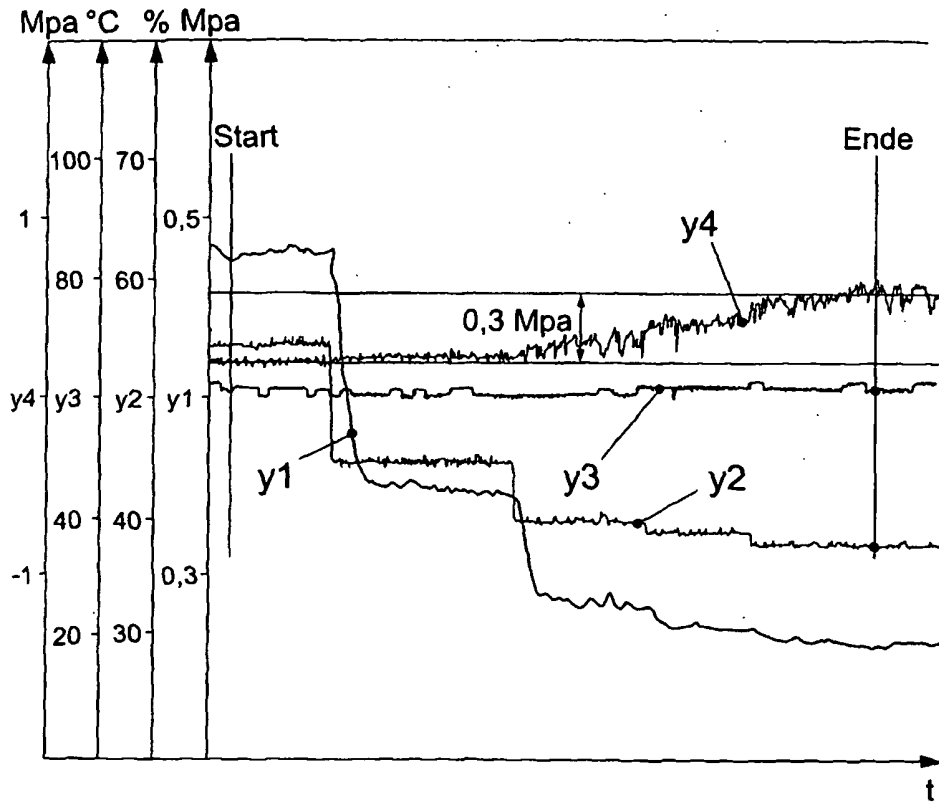


FIG. 4

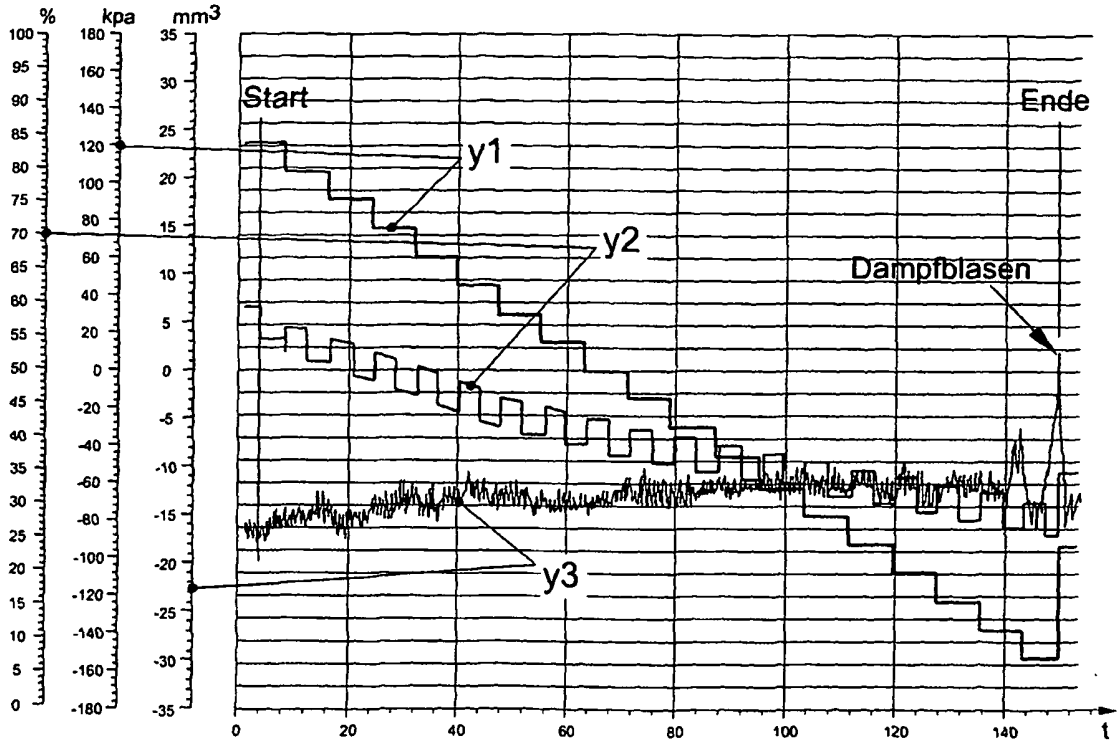


FIG. 5

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 4126640 A1 [0003]
- DE 19652831 A1 [0004]
- DE 19951410 A1 [0008]
- DE 10158950 A1 [0011]
- DE 10300929 A1 [0012]
- DE 10200795 A1 [0013]
- DE 10001882 A1 [0014]