



(11) **EP 1 716 331 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**20.08.2008 Patentblatt 2008/34**

(51) Int Cl.:  
**F02D 41/34<sup>(2006.01)</sup> F02D 41/14<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **05707907.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2005/050428**

(22) Anmeldetag: **01.02.2005**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2005/078263 (25.08.2005 Gazette 2005/34)**

(54) **VERFAHREN ZUR ZYLINDERGLEICHSTELLUNG BEZÜGLICH DER KRAFTSTOFF-EINSPRITZMENGEN BEI EINER BRENNKRAFTMASCHINE**

METHOD FOR SYNCHRONIZING CYLINDERS IN TERMS OF QUANTITIES OF FUEL INJECTION IN A HEAT ENGINE

PROCEDE DE SYNCHRONISATION DES CYLINDRES EN TERMES DE QUANTITES D'INJECTION DE CARBURANT DANS UN MOTEUR THERMIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB IT**

(30) Priorität: **10.02.2004 DE 102004006554**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**02.11.2006 Patentblatt 2006/44**

(73) Patentinhaber: **Continental Automotive GmbH  
30165 Hannover (DE)**

(72) Erfinder:  
• **DIETL, Roland  
93049 Regensburg (DE)**

- **RABL, Hans, Peter  
93309 Kelheim (DE)**
- **RADECZKY, Janos  
93173 Wenzenbach (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**DE-A1- 10 012 025 DE-A1- 19 855 939  
US-A- 4 667 634**

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 2000, Nr. 01, 31. Januar 2000 (2000-01-31) & JP 11 280530 A (FEV MOTORENTECHNIK GMBH & CO KG), 12. Oktober 1999 (1999-10-12)**

**EP 1 716 331 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 zur Gleichstellung der Unterschiede in der Einspritzmenge zwischen den Zylindern einer Brennkraftmaschine, bei dem die Einspritzmengenunterschiede, die an einem Betriebspunkt im unteren Drehzahlbereich bei den dort im regulären Fahrbetrieb geltenden Einspritzparameterwerten vorliegen, mittels einer zylinderindividuellen Messmethode zur Erfassung der Laufunruhe der Brennkraftmaschine bestimmt und, dem niedrigen Betriebspunkt zugeordnet, gelernt werden, und bei dem für Betriebsbereiche mit höheren Lasten und Drehzahlen für einen gewählten Einspritzparameter eine Adaption der Einspritzmengenunterschiede durchgeführt wird.

**[0002]** Ein derartiges Verfahren ist bereits aus der DE 197 00 711 A1 bekannt.

**[0003]** Bei einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine ergibt sich bei der Einspritzung von Kraftstoff in die Verbrennungsräume durch Streuungen insbesondere der mechanischen Eigenschaften der Einspritzvorrichtung, beispielsweise der Injektoren für Dieselmotoren mit Common Rail, ein systematischer Fehler. Auf Grund von Fertigungstoleranzen der genannten Komponenten und unterschiedlicher Abnutzung (Alterungserscheinungen) werden bei gleicher Einspritzzeitdauer und ansonsten identischen Randbedingungen unterschiedliche Kraftstoffmengen der Verbrennung in den einzelnen Zylindern zugeführt. Die unterschiedlichen Kraftstoffmengen führen zu einer unterschiedlichen Leistungsabgabe der einzelnen Zylinder, was neben einer Steigerung der Laufunruhe auch zu einer Erhöhung der Menge an schädlichen Abgaskomponenten führt.

**[0004]** Es ist bekannt, die Laufunruhe einer Brennkraftmaschine auszuwerten, um daraus Rückschlüsse auf die Einspritzmenge in den verschiedenen Brennräumen zu ziehen. Hierzu wird z. B. mit einem Drehzahlsensor die Drehbeschleunigung der Kurbelwelle gemessen, wobei die Drehbeschleunigung von der jeweiligen Einspritzmenge abhängt. So verursacht eine große Einspritzmenge in dem betroffenen Verbrennungstakt eine entsprechend große Drehbeschleunigung der Kurbelwelle, wohingegen eine kleine Einspritzmenge nur zu einer entsprechend kleineren Drehbeschleunigung führt. Dieser Laufunruhe wird bei bekannten Brennkraftmaschinen dadurch entgegengewirkt, dass die Einspritzmengen in den einzelnen Brennräumen durch eine geeignete Ansteuerung der verschiedenen Injektoren aneinander angeglichen werden. Die Steuersignale für die verschiedenen Injektoren werden hierbei solange verändert, bis alle Zylinder den gleichen Beitrag zum Drehmoment leisten, was auf eine einheitliche Einspritzmenge in den verschiedenen Brennräumen schließen lässt.

**[0005]** Diese bekannte Laufunruhe-Regelung zur Zylinderangleichstellung bezüglich der Einspritzmengen ist in der Anwendung auf niedrige Lastpunkte unter stationären Betriebsbedingungen, beispielsweise Leerlauf, beschränkt. Ein Abbremsen oder Beschleunigen, wie es in

höheren Betriebsbereichen typischerweise vorkommt, könnte vom Drehzahlsensor an der Kurbelwelle fälschlicherweise als Einspritzmengenunterschied interpretiert werden.

**[0006]** Die Beschränkung auf einen niedrigen Betriebspunkt zur Ermittlung der Einspritzmengenunterschiede ist jedoch problematisch, da diese mit mindestens einem der Einspritzparameter, z. B. Einspritzdruck und Einspritzzeitdauer, variieren. Die bei einem niedrigen Betriebspunkt ermittelten Einspritzmengenunterschiede können demnach nicht zur Gleichstellung im gesamten Betriebsbereich, z. B. als globale Korrekturfaktoren für einen Ansteuerparameter der Injektoren, verwendet werden, sondern müssen an die bei höheren Betriebspunkten geltenden Einspritzparameter adaptiert werden, was jedoch wegen der erwähnten Voraussetzung stationärer Betriebsbedingungen für die Laufunruhe-Regelung nicht ohne weiteres möglich ist.

**[0007]** In der oben genannten DE 197 00 711 A1, bei der die Einspritzzeitdauer mit zylinderindividuellen Korrekturfaktoren zur Zylinderangleichstellung bezüglich der Einspritzmenge beaufschlagt wird, wird vorgeschlagen, die bei einem niedrigen Betriebspunkt bestimmten Korrekturfaktoren durch einen von den Einspritzparametern Druck und Einspritzzeitdauer abhängigen Adaptionfaktor  $f(p,t)$  an höhere Betriebsbereiche anzupassen. Die Werte dieses Adaptionfaktors sollen in einem Kennfeld abgelegt sein und diesem zur Adaption der Korrekturfaktoren im Fahrbetrieb entnommen werden. Das bekannte Verfahren vermeidet zwar eine Adaption bei instationären Betriebsbedingungen, jedoch nur mit Hilfe eines vorgegebenen Kennfeldes, dessen Werte den real vorliegenden, mit der Lebensdauer des Fahrzeugs veränderlichen Abhängigkeitsverhältnissen der Einspritzmengenunterschiede nicht optimal gerecht werden können.

**[0008]** Ein ähnliches Verfahren, bei dem die Korrekturmengen an einem Betriebspunkt für einen Einspritzparameterwert erfasst und dann rechnerisch auf die anderen Betriebspunkte übertragen werden, ist aus der US 4, 667, 634 A bekannt. Aus der DE 198 55 939 A1 ist ferner ein Verfahren zur Zylinderangleichstellung bekannt, bei dem die Adaptionwerte für die Einspritzmengen an einem Betriebspunkt für einen Einspritzparameterwert erfasst und dann für alle Werte des Einspritzparameters im ganzen Betriebsbereich übernommen werden. Schließlich ist aus der DE 100 12 025 A1 ein Verfahren zur Zylinderangleichstellung bekannt, bei dem die notwendigen Einspritzkorrekturfaktoren in mehreren Betriebspunkten ermittelt und gespeichert werden. Die Zylinderangleichstellung erfolgt dabei mittels eines Reglers, dessen Reglereingriffe direkt den Einspritzkorrekturfaktoren entsprechen, wobei die Adaption dann erfolgt, wenn die jeweiligen Betriebspunkte im regulären Betrieb, also nicht in einen besonderen Diagnosezyklus, tatsächlich erreicht werden.

**[0009]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, das es erlaubt, den tatsächlichen, einspritzparameterabhän-

gigen systematischen Fehler bezüglich der Einspritzmengen im Hinblick auf eine Zylindergleichstellung auf einfache Weise zu ermitteln.

**[0010]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Die abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung.

**[0011]** Erfindungsgemäß wird bei einem gattungsgemäßen Verfahren in dem niedrigen Betriebspunkt der gewählte Einspritzparameter zur Adaption auf einen Wert eingestellt, der vom dort im regulären Fahrbetrieb geltenden Wert abweicht. Unter dem regulären Fahrbetrieb ist zu verstehen, dass z.B. bei niedrigen Lasten entsprechende niedrige Einspritzdrücke anliegen. Dagegen wird vom regulären Fahrbetrieb abgewichen, wenn z.B. bei niedrigen Lasten hohe Einspritzdrücke anliegen. Dann können für diesen eingestellten Einspritzparameterwert die Einspritzmengenunterschiede mittels der Messung der Laufunruhe bestimmt und als dem jeweiligen Einspritzparameterwert zugeordnete Adaptionswerte gelernt werden. Während dieser Adaption ist darauf zu achten, dass die Dynamik des mit dem jeweils eingestellten Einspritzparameterwert veränderlichen Betriebspunktes begrenzt wird, da sich ein veränderter Einspritzparameterwert sonst in einer vom Fahrer des Fahrzeugs nicht initiierten Abbremsung oder Beschleunigung, jedenfalls in einem neuen Betriebspunkt, also nicht stationären Bedingungen während der Adaption, äußern würde.

**[0012]** Besonders bevorzugt wird eine Ausführungsform des Verfahrens, bei der zur Begrenzung der Dynamik des niedrigen Betriebspunktes während der Adaption mindestens ein zweiter Einspritzparameter derart eingestellt wird, dass der Betriebspunkt wenigstens näherungsweise stationär bleibt. Dies lässt sich vorteilhaft dadurch erreichen, dass bei der Adaption an aufeinander folgend höhere Werte des als Einspritzparameter gewählten Einspritzdruckes zur Begrenzung der Dynamik des niedrigen Betriebspunktes jeweils eine entsprechend kürzere Einspritzzeitdauer eingestellt wird. Die zweiten bzw. weiteren Einspritzparameter werden hier also als Hilfsgrößen derart gesteuert, dass der Fahrer vom Adaptionsprozess nichts bemerkt. Da einige wenige Kolbenhübe zur Adaption ausreichend sind, kann die Motorsteuerung ohne weiteres auch so eingestellt werden, dass der Fahrer die stationären Bedingungen während der kritischen Adaptionsphase nicht, oder nur bei Überschreitung einer Schwelle beim vom Fahrer über das Gas angeforderten Wunschleistung, aufheben kann.

**[0013]** Bei allen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergibt sich der Vorteil, dass für die Adaption ein niedriger Betriebspunkt auswählbar ist, bei dem die höchste Empfindlichkeit und/oder Zuverlässigkeit der Messung der Laufunruhe erreicht wird, obwohl dabei eine korrekte Adaption für hohe Betriebsbereiche vorgenommen wird. Insbesondere kann der niedrige Betriebspunkt im Leerlaufbereich gewählt werden.

**[0014]** Die gelernten Adaptionswerte dienen zur Berechnung von zylinderindividuellen Korrekturfaktoren,

mit denen, im Regelfall im Rahmen der Laufunruhe-Regelung während des Adaptionsprozesses und im Fahrbetrieb, ein Ansteuerparameter einer Einspritzvorrichtung der Brennkraftmaschine derart beaufschlagt wird, dass eine Gleichstellung der Einspritzmengen erfolgt.

**[0015]** Als vorteilhaft hat sich dabei herausgestellt, dass die Einspritzvorrichtung für jeden Zylinder durch einen Injektor mit piezoelektrischem Aktor gebildet wird, wobei als Ansteuerparameter die Ansteuerenergie der Aktoren herangezogen wird. Es kann also insbesondere für verschiedene Werte des Einspritzdruckes eine Adaption des zur Gleichstellung notwendigen Aktorhubs durchgeführt werden.

**[0016]** Zur Erfassung der Laufunruhe der Brennkraftmaschine kann die von den zylinderindividuell unterschiedlichen Einspritzmengen verursachte Drehbeschleunigung der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine ausgewertet werden. Die Bestimmung der adaptierten Einspritzmengenunterschiede bzw. der adaptierten Korrekturfaktoren zur Gleichstellung kann somit auf eine sehr genaue Messmethodik gestützt werden.

**[0017]** Das erfindungsgemäße Verfahren eröffnet außerdem die Möglichkeit, dass am zur Adaption eingestellten stationären Betriebspunkt bei gleichgestellten Einspritzmengen aus einem gespeicherten Drehmomentenmodell der Brennkraftmaschine der Absolutwert der zugehörigen Einspritzmenge ermittelt wird. Eine Diagnose des Absolutwertes der Einspritzmenge ist gerade für die Diagnose kleiner Einspritzmengen, insbesondere von Voreinspritzmengen, die im Bereich von wenigen Milligramm liegen, entscheidend für die Einhaltung der Grenzen der Abgas-Emissionen.

**[0018]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand der schematischen Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein Flussdiagramm zur Durchführung der erfindungsgemäßen Einspritzmengengleichstellung,

Figur 2 ein Flussdiagramm zur Durchführung der bevorzugten Einspritzmengengleichstellung mittels Ladungszeitadaption.

**[0019]** Nach Start 1 der Einspritzmengengleichstellung ist im nächsten Schritt eine Initialisierungsphase 2 vorgesehen, in der die in einem früheren Diagnosezyklus abgespeicherten Adaptionswerte in ein (nicht dargestelltes) Motorsteuerungsgerät geladen werden. Die Initialisierung eines neuen Diagnosezyklus kann sowohl nach jedem Startvorgang der Brennkraftmaschine, als auch nach bestimmten, vorgebbaren Zeit- oder Wartungsintervallen erfolgen.

**[0020]** Nach dem Ende der Initialisierung 2 erfolgt in einem passiven Diagnoseschritt 3 die Überprüfung der Aktivierungsbedingungen. Dabei geht es darum, abzuwarten bis bevorzugte Betriebsbedingungen für die Adaption an einen regulären oder davon abweichenden Einspritzparameterwert erreicht sind. Dazu gehören beispielsweise die Last, die Drehzahl oder die Kühlmittel-

temperatur. Dabei muss die Motorsteuerung gegebenenfalls so umgestellt werden, dass bei der nachfolgenden Adaption die Dynamik der zeitlichen Veränderung des zur Durchführung des Adaptionszyklus ausgesuchten Betriebspunktes begrenzt wird.

**[0021]** Sobald die Aktivierungsbedingungen erfüllt sind, wird der eigentliche, aktive Diagnosezyklus 4 gestartet. Mit den dem Motorbetriebszustand zugehörigen, regulären Einspritzparametern 5 (vgl. Einspritzparametersatz in der Figur 1) wird zunächst eine Laufunruhe-Regelung 6 durchgeführt. Als Ergebnis sind die Einspritzmengen der einzelnen Injektoren der Brennkraftmaschine in dem bevorzugten, niedrigen Betriebspunkt aneinander angeglichen. Zum anderen ist an dieser Stelle des Ablaufs auch die zusätzliche Auswertungsmöglichkeit gegeben, dass am bevorzugten, niedrigen Betriebspunkt mit den vorgegebenen regulären Einspritzparameterwerten auf eine aus dem Drehmomentenmodell bekannte Einspritzmenge geschlossen wird, die gemäß dem erzielten Drehmoment gegeben sein muss.

**[0022]** Danach, im Schritt 7 (Adaption der Ansteuerparameter) werden weitere Einspritzparameter bzw. Einspritzparametersätze  $i$  geladen und dafür jeweils die Laufunruhe-Regelung durchgeführt mit einer Bestimmung der am eingestellten Wert des gewählten Einspritzparameters vorliegenden Einspritzmengenunterschiede bzw. mit der Gleichstellung durch entsprechende Korrekturfaktoren für einen Ansteuerparameter. Zur Adaption wird ein geeigneter Ansteuerparameter, wie beispielsweise die den Aktoren zugeführte Energie ausgewählt. Die resultierenden Adaptionswerte werden dem Einspritzparametersatz, also primär den Einspritzparametern, wie z.B. Einspritzdruck und Einspritzzeitdauer dessen Einfluss auf die Einspritzmengenunterschiede festgehalten werden soll, zugeordnet und abgespeichert, damit sie später, beim Fahrbetrieb mit höheren Lasten und Drehzahlen und den zugehörigen regulären Werten des gewählten Einspritzparameters, zur direkten Einspritzmengengleichstellung ohne Diagnosezyklus abgerufen werden können. Wenn die Adaption für genügend viele Stützstellen (typischerweise fünf bis zehn), also beispielsweise für alle  $i=1$  bis  $i=k$  eingestellten Einspritzparameterwerte des Druckes durchgeführt wurde, ist das Ende 8 der Adaption bzw. des laufenden Diagnosezyklus erreicht und die gespeicherten Adaptionswerte können im Fahrbetrieb zur Gleichstellung der Einspritzmengen verwendet werden.

**[0023]** Es hat sich herausgestellt, dass die von der Einspritzzeitdauer abhängigen unterschiedlichen Einspritzmengen von Injektoren auf einfache Weise dadurch einander angeglichen werden können, dass der Hub der Aktoren verändert wird. Das bedeutet beispielsweise, dass für verschiedene als Einspritzparameterwerte gewählte Einspritzdrücke eine Adaption des Aktorhubs durchgeführt wird. Andererseits kann die als Injektor-Stellgröße eingesetzte Ansteuerenergie natürlich auch zur Variation des Einspritzbeginns herangezogen werden.

**[0024]** Bei jedem Diagnosezyklus werden die zuletzt gespeicherten Adaptionswerte bzw. Korrekturfaktoren von den neu ermittelten überschrieben, wodurch insbesondere die zwischenzeitlich aufgetretenen Alterungserscheinungen der Einspritzvorrichtung, die eventuell zu veränderten Streuungen bezüglich der Einspritzmengen in die verschiedenen Brennräume führen, Berücksichtigung finden.

**[0025]** Das in Figur 2 dargestellte Verfahren führt in Schritt 11 eine Initialisierung durch. Dabei werden die abgespeicherten Adaptionswerte geladen. In Schritt 12 wird überprüft, ob die Aktivierungsbedingungen erfüllt sind. Darunter ist zu verstehen, ob konstante Betriebsbedingungen vorhanden sind, wie z.B. konstante Last, konstante Drehzahl, konstante Temperatur des Kühlmittels, etc. So bleibt die Diagnose wie in Schritt 13 gezeigt so lange passiv, bis in Schritt 12 die Aktivierungsbedingungen erfüllt sind. Dann geht es im Schritt 14 weiter, indem die Einspritzparameter für eine Anfangslade/Entladezeit geladen werden. So kann beispielsweise die Anfangslade/Entladezeit auf  $200 \mu s$  gesetzt werden. Zu den Einspritzparametern gehören der Einspritzdruck, Injektorenergie, Art der Einspritzung, darunter ist zu verstehen, ob es sich um eine Vor-, Haupt-, Nacheinspritzung handelt. Sind diese Parameter einmal geladen, so geht es zur Laufunruheregulierung im Schritt 15 weiter. Die Laufunruheregulierung erfolgt zylinderselektiv, d.h., dass z.B. für ein Vierzylindermotor zuerst der Zylinder Nr.1 geregelt wird. Sind die Einspritzparameter für den Injektor des Zylinders Nr. 1 eingestellt, so folgt der Injektor des zweiten Zylinders. Die Regelung kann die Lade/Entladezeit, den Einspritzdruck, die Ansteuerungsenergie, und die Art der Einspritzung einstellen. Im speziellen kann die Regelung bei einer definierten (festen) Ansteuerdauer (Einspritzzeitdauer) und definiertem (festen) Einspritzdruck durchgeführt werden, wobei die Aktorenergie entsprechend angepasst wird. Bei einem Raildruck von beispielsweise 1500 bar und einer Einspritzmenge von 0,84 mg müssen Ansteuerzeiten von weniger als  $160 \mu s$  realisiert werden.

**[0026]** Im Schritt 16 wird überprüft ob mit diesen Größen die Laufunruhe unter einem Schwellenwert  $S$  liegt. Ist dies nicht der Fall, so muss in Schritt 17 zusätzlich die Ansteuerdauer verändert werden. Dies ist insbesondere bei "schlecht" gefertigten Injektoren erforderlich, die diese kurzen Lade/Entladezeiten schlecht bzw. nicht verkraften. Bei solchen Injektoren und kurzen Entladezeiten ist die eingespritzte Kraftstoffmenge unabhängig von der Aktorenergie. Es stellt sich eine Art "Mengensättigung" ein und die Einspritzmenge kann nicht mehr durch Erhöhen der Aktorenergie verändert werden. Dies bedeutet, dass eine Einspritzadaption in einem definierten Betriebszustand nicht alleine durch Energieanpassung, sondern mittels einer Verlängerung der Ansteuerdauer durchgeführt werden muss, die damit die Einspritzzeitdauer verlängert.

**[0027]** Als Ergebnis einer erfolgreichen Laufunruheregulierung nach Schritt 16 sind die Einspritzmengen der ein-

zelnen Injektoren aufeinander angeglichen. Diese Einspritzparameter werden für die zugehörige Lade/Entladezeit  $\tau_i$  abgespeichert (Schritt 18). In Schritt 19, wird überprüft ob die Lade/Entladezeit  $\tau_i$  größer gleich als einem Extremwert ist. Hier beträgt der Extremwert beispielsweise 140  $\mu$ s. In dem obigen Beispiel liegt der Anfangswert  $\tau_0$  bei 200  $\mu$ s. Anzumerken ist, dass der Index  $i$  hier gleich Null ist. Da die in Schritt 19 aufgestellte Bedingung nicht erfüllt ist, geht es in Schritt 20 weiter. Vor dem Laden des nächsten Parametersatzes in Schritt 14 wird zuvor in Schritt 20 die Lade/Entladezeit um 10  $\mu$ s verringert. Somit beträgt jetzt die Lade/Entladezeit  $\tau_1$  gleich 190  $\mu$ s. In Schritt 21 wird lediglich der Index um 1 erhöht. Die vorhandenen Einspritzparameter für  $\tau_1$  werden nun in Schritt 14 geladen. Wie bereits oben beschrieben folgen dann die Schritte 15 bis 19. Sind alle Parametersätze für die verschiedenen Lade/Entladezeiten angepasst, kann der konstante Einspritzdruck (z.B. 1500 bar) auf einen neuen anderen konstanten Einspritzdruck (z.B. 1400 bar) eingestellt werden. Sobald in Schritt 12 der neue Druck anliegt, wird für jede Lade/Entladezeit von 200 bis 140  $\mu$ s die Aktorenergie nach den Schritten 14 bis 19 bestimmt. Dies kann für verschiedene Druckwerte durchgeführt werden. Sobald ausreichend viele Messwerte vorhanden sind, endet das Verfahren in Schritt 22. Anzumerken ist, dass die schrittweise Änderung der Lade/Entladezeit um 10  $\mu$ s in Schritt 20 nur beispielhaft aufgeführt wurde. Für eine feinere Modellierung, sind durchaus Differenzen von einer Lade/Entladezeit zur nächsten Lade/Entladezeit von 1  $\mu$ s denkbar. Diese erfindungsgemäße Diagnose ist sehr schnell durchführbar, da nur wenige Kolbenhübe ausreichend sind.

**[0028]** Zusammengefasst ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren, dass bei einem bevorzugten, niedrigen Betriebspunkt, bei dem die höchste Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit der Laufunruhe-Regelung besteht, die Diagnose der Einspritzmengenunterschiede bzw. der Einspritzmenge selbst erfolgt. An diesem Betriebspunkt erfolgt die Diagnose und Adaption dann auch für Einspritzparameterwerte, die im Fahrbetrieb für andere Betriebspunkte gelten. Es erfolgt am niedrigen Betriebspunkt also sowohl ein Ausgleich der Einspritzmengenunterschiede zwischen den einzelnen Injektoren als auch eine Kalibrierung der Einspritzmenge auf die zugehörigen, im Diagnosezyklus künstlich eingestellten Werte des ausgewählten Einspritzparameters, wobei eine unerwünschte Bewegung des Adaptions-Betriebspunktes durch die gegenläufige Einstellung anderer Einspritzparameterwerte verhindert bzw. begrenzt wird. Bevorzugt ist eine Einspritzmengengleichstellung durch Energieregulierung des Injektor-Ansteuerparameters in Abhängigkeit, insbesondere, vom Einspritzparameter Druck.

**[0029]** Optional ist es an dem eingestellten Betriebspunkt auf Grund der Kenntnis des Motorbetriebszustandes (Temperatur von Kühlmittel, aktive Verbraucher) möglich, aus dem Drehmomentenmodell den Absolutwert der Einspritzmenge herauszulesen und etwa für die

exakte Kalibrierung des Kennfeldes Einspritzmenge/Einspritzzeitdauer zu verwenden.

## 5 Patentansprüche

1. Verfahren zur Gleichstellung der Unterschiede in der Einspritzmenge zwischen den Zylindern einer Brennkraftmaschine, bei dem die Einspritzmengenunterschiede, die an einem Betriebspunkt im unteren Drehzahlbereich bei den dort im regulären Fahrbetrieb geltenden Einspritzparameterwerten vorliegen, mittels einer zylinderindividuellen Messmethode zur Erfassung der Laufunruhe der Brennkraftmaschine bestimmt und dem niedrigen Betriebspunkt zugeordnet werden und bei dem für Betriebsbereiche mit höheren Lasten und Drehzahlen für einen gewählten Einspritzparameter eine Adaption der Einspritzmengenunterschiede durchgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** in dem niedrigen Betriebspunkt der gewählte Einspritzparameter zur Adaption (4, 5, 6, 7) auf verschiedene Werte eingestellt wird, die vom dort im regulären Fahrbetrieb geltenden Wert abweichen, und dass für die eingestellten Werte jeweils die Einspritzmengenunterschiede mittels der Messung der Laufunruhe bestimmt und als Adaptionswerte gelernt werden, die dem jeweiligen Einspritzparameterwert zugeordnet werden, wobei während der Adaption (4, 5, 6, 7) die Dynamik des mit dem jeweils eingestellten Einspritzparameterwert veränderlichen Betriebspunktes begrenzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** zur Begrenzung der Dynamik des niedrigen Betriebspunktes während der Adaption (4, 5, 6, 7) mindestens ein zweiter Einspritzparameter derart eingestellt wird, dass der Betriebspunkt wenigstens näherungsweise stationär bleibt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** bei der Adaption (4, 5, 6, 7) an aufeinander folgend höhere Werte des als Einspritzparameter gewählten Einspritzdruckes zur Begrenzung der Dynamik des niedrigen Betriebspunktes jeweils eine entsprechend kürzere Einspritzzeitdauer eingestellt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** bei der Adaption (4, 5, 6, 7) an aufeinander folgend niedrigere Werte des als Einspritzparameter gewählten Einspritzdruckes zur Begrenzung der Dynamik des niedrigen Betriebspunktes jeweils eine entsprechend längere Einspritzzeitdauer eingestellt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **da-**

durch gekennzeichnet, dass der Einspritzdruck schrittweise um einen bestimmten Betrag verändert wird.

maschine der Absolutwert der zugehörigen Einspritzmenge ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 5  
dadurch gekennzeichnet, dass für die Adaption (4, 5, 6, 7) ein niedriger Betriebspunkt ausgewählt wird, bei dem die höchste Empfindlichkeit und/oder Zuverlässigkeit der Messung der Laufunruhe erreicht wird. 10
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 15  
dadurch gekennzeichnet, dass der niedrige Betriebspunkt im Leerlaufbereich gewählt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 20  
dadurch gekennzeichnet, dass die gelernten Adaptionswerte zur Berechnung von zylinderindividuellen Korrekturfaktoren dienen, mit denen ein Ansteuerparameter einer Einspritzvorrichtung der Brennkraftmaschine derart beaufschlagt wird, dass eine Gleichstellung der Einspritzmengen erfolgt. 25
9. Verfahren nach Anspruch 8, 30  
dadurch gekennzeichnet, dass die Einspritzvorrichtung für jeden Zylinder durch einen Injektor mit piezoelektrischem Aktor gebildet wird, wobei als Ansteuerparameter die Ansteuerenergie der Aktoren herangezogen wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, 35  
dadurch gekennzeichnet, dass für eine bestimmte Lade-/Entladezeit des Injektors die Aktorenergie entsprechend angepasst wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, 40  
dadurch gekennzeichnet, dass die Lade-/Entladezeit der Haupteinspritzung mit einem Anfangswert ( $\tau_0$ ) getakt und schrittweise auf einen Extremwert verändert wird, wobei bei jedem Schritt die Aktorenergie entsprechend angepasst wird. 45
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 50  
dadurch gekennzeichnet, dass zur Erfassung der Laufunruhe der Brennkraftmaschine die von den zylinderindividuell unterschiedlichen Einspritzmengen verursachte Drehbeschleunigung der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine ausgewertet wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, 55  
dadurch gekennzeichnet, dass am zur Adaption (4, 5, 6, 7) eingestellten stationären Betriebspunkt bei gleichgestellten Einspritzmengen aus einem gespeicherten Drehmomentenmodell der Brennkraft-

## Claims

1. Method for synchronising, between the cylinders of an internal combustion engine, the differences in the quantity of fuel injected, in which the differences in the quantity of fuel injected which exist at an operating point in the lower engine-speed range with the injection parameter values valid at that point under normal operating conditions are determined by means of a method of measuring individual cylinders to record irregularities in the running of the internal combustion engine and are assigned to the low operating point and in which, for operating ranges with higher loads and engine speeds, an adaptation of the differences in the quantity of fuel injected is carried out for a chosen injection parameter, **characterised in that** at the low operating point the chosen injection parameter is set for adaptation (4, 5, 6, 7) to different values which deviate from the value applicable at that point under normal operating conditions, and **in that** for the set values the differences in the quantity of fuel injected are determined in each instance by means of measurement of the irregularities in the running of the engine and are learned as adaptation values which are assigned to the respective injection parameter value, wherein during the adaptation (4, 5, 6, 7) the movement of the operating point, which changes with the injection parameter value set in each case, is limited.
2. Method according to claim 1, **characterised in that**, in order to limit the movement of the low operating point during adaptation (4, 5, 6, 7), at least one second injection parameter is set such that the operating point remains at least approximately stationary.
3. Method according to claim 2, **characterised in that**, in the process of adaptation (4, 5, 6, 7) to successively higher values of the injection pressure chosen as an injection parameter, a correspondingly shorter injection period is set in order to limit the movement of the low operating point.
4. Method according to claim 2, **characterised in that**, in the process of adaptation (4, 5, 6, 7) to successively lower values of the injection pressure chosen as an injection parameter, a correspondingly longer injection period is set in order to limit the movement of the low operating point.
5. Method according to any one of claims 2 or 3, **char-**

**acterised in that** the injection pressure is changed gradually by a defined amount.

6. Method according to any one of the preceding claims,  
**characterised in that** for the adaptation (4, 5, 6, 7) a low operating point is selected at which the maximum sensitivity and/or reliability of measurement of the irregularity in the running of the engine is achieved. 5
7. Method according to any one of the preceding claims,  
**characterised in that** the low operating point is chosen in the idling range. 10
8. Method according to any one of the preceding claims,  
**characterised in that** the learned adaptation values serve to calculate cylinder-specific correction factors, which are applied to an activation parameter of an injection device of the internal combustion engine such that a synchronisation of the quantities of fuel injected occurs. 20
9. Method according to claim 8,  
**characterised in that** the injection device for each cylinder is formed by an injector with a piezoelectric actuator, wherein the activation energy of the actuators is used as an activation parameter. 25
10. Method according to claim 9,  
**characterised in that**, for a defined loading/unloading time of the injector, the actuator energy is adapted correspondingly. 30
11. Method according to claim 10,  
**characterised in that** the loading/unloading time of the main injection is set to an initial value ( $\tau_0$ ) and is gradually changed to an extreme value, wherein with each step the actuator energy is adapted correspondingly. 35
12. Method according to any one of the preceding claims,  
**characterised in that**, in order to record the irregularity in the running of the internal combustion engine, the angular acceleration of the crankshaft of the internal combustion engine caused by the differing quantities of fuel injected in individual cylinders is analysed. 40
13. Method according to claim 12,  
**characterised in that**, at the stationary operating point set for adaptation (4, 5, 6, 7) with synchronised quantities of fuel injected, the absolute value of the associated quantity of fuel injected is determined from a stored model of the torque of the internal com- 45

bustion engine.

## Revendications

1. Procédé de compensation des différences de débit d'injection entre les cylindres d'un moteur à combustion interne, dans lequel les différences de débit d'injection présentées à un point de fonctionnement de la plage de régime de rotation basse avec les valeurs de paramètres d'injection qui sont valides en condition normale de roulage, sont déterminées au moyen d'une méthode de mesure spécifique à chaque cylindre pour la saisie de l'instabilité de marche du moteur à combustion interne, et associées au point de fonctionnement bas, et dans lequel, pour des plages de fonctionnement à charge et à régime de rotation élevés pour un paramètre d'injection sélectionné, il est procédé à une adaptation des différences de débit d'injection,  
**caractérisé en ce qu'**au point de fonctionnement bas, le paramètre d'injection sélectionné pour l'adaptation (4, 5, 6, 7) est réglé à une valeur autre que la valeur qui est valide en condition normale de roulage, et en ce que pour la valeur réglée, les différences de débit d'injection sont respectivement déterminées au moyen de la mesure de l'instabilité de marche et apprises comme valeurs d'adaptation associées à la valeur de paramètre d'injection correspondante, la dynamique du point de fonctionnement variant avec la valeur de paramètre d'injection respectivement réglée étant limitée en cours d'adaptation (4, 5, 6, 7).
2. Procédé selon la revendication 1,  
**caractérisé en ce que**, pour la limitation de la dynamique du point de fonctionnement bas en cours d'adaptation (4, 5, 6, 7), au moins un deuxième paramètre d'injection est réglé de telle manière que le point de fonctionnement reste au moins approximativement fixe.
3. Procédé selon la revendication 2,  
**caractérisé en ce que**, pour l'adaptation (4, 5, 6, 7) à des valeurs consécutives supérieures de la pression d'injection sélectionnée comme paramètre d'injection, une durée d'injection inférieure en conséquence est réglée pour la limitation de la dynamique du point de fonctionnement bas.
4. Procédé selon la revendication 2,  
**caractérisé en ce que** pour l'adaptation (4, 5, 6, 7) à des valeurs consécutives inférieures de la pression d'injection sélectionnée comme paramètre d'injection, une durée d'injection supérieure en conséquence est réglée pour la limitation de la dynamique du point de fonctionnement bas.

5. Procédé selon l'une des revendications 2 ou 3, **caractérisé en ce que** la pression d'injection est graduellement variée d'une valeur déterminée. fixe réglé pour l'adaptation (4, 5, 6, 7) avec des débits d'injection équivalents, la valeur absolue du débit d'injection correspondant est déterminée à partir d'un modèle mémorisé de couple du moteur à combustion interne.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, pour l'adaptation (4, 5, 6, 7), un point de fonctionnement inférieur est sélectionné, dans lequel sont obtenues la sensibilité et/ou la fiabilité maximales de la mesure de l'instabilité de marche. 5 10
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le point de fonctionnement bas est sélectionné dans la plage de régime au ralenti. 15
8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les valeurs d'adaptation apprises servent au calcul de facteurs de correction spécifiques à chaque cylindre, au moyen desquels un paramètre de commande d'un système d'injection du moteur à combustion interne est appliqué de manière à obtenir une équivalence des débits d'injection. 20 25
9. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le système d'injection pour chaque cylindre est formé par un injecteur à actionneur piézoélectrique, l'énergie d'excitation des actionneurs étant utilisée comme paramètre de commande. 30 35
10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** pour un temps de chargement/déchargement défini de l'injecteur, l'énergie d'actionneur est ajustée en conséquence. 40
11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le temps de chargement/déchargement de l'injection principale est synchronisé avec une valeur initiale ( $\tau_0$ ) et graduellement varié jusqu'à une valeur extrême, l'énergie d'actionneur étant ajustée en conséquence à chaque étape. 45
12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, pour la saisie de l'instabilité de marche du moteur à combustion interne, l'accélération de la rotation du vilebrequin du moteur à combustion interne causée par les différents débits d'injection spécifiques à chaque cylindre est évaluée. 50 55
13. Procédé selon la revendication 12, **caractérisé en ce qu'**au point de fonctionnement

FIG 1

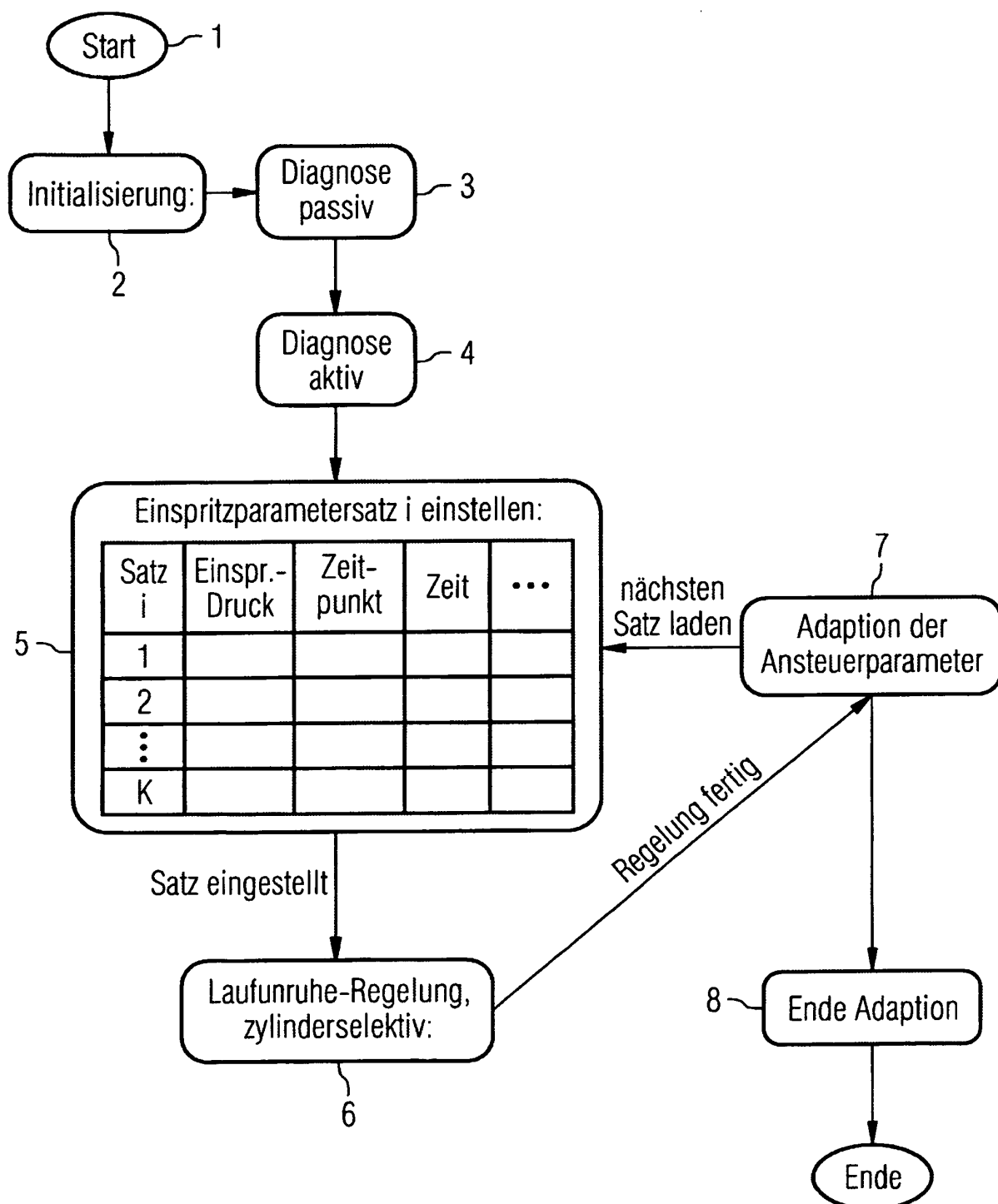
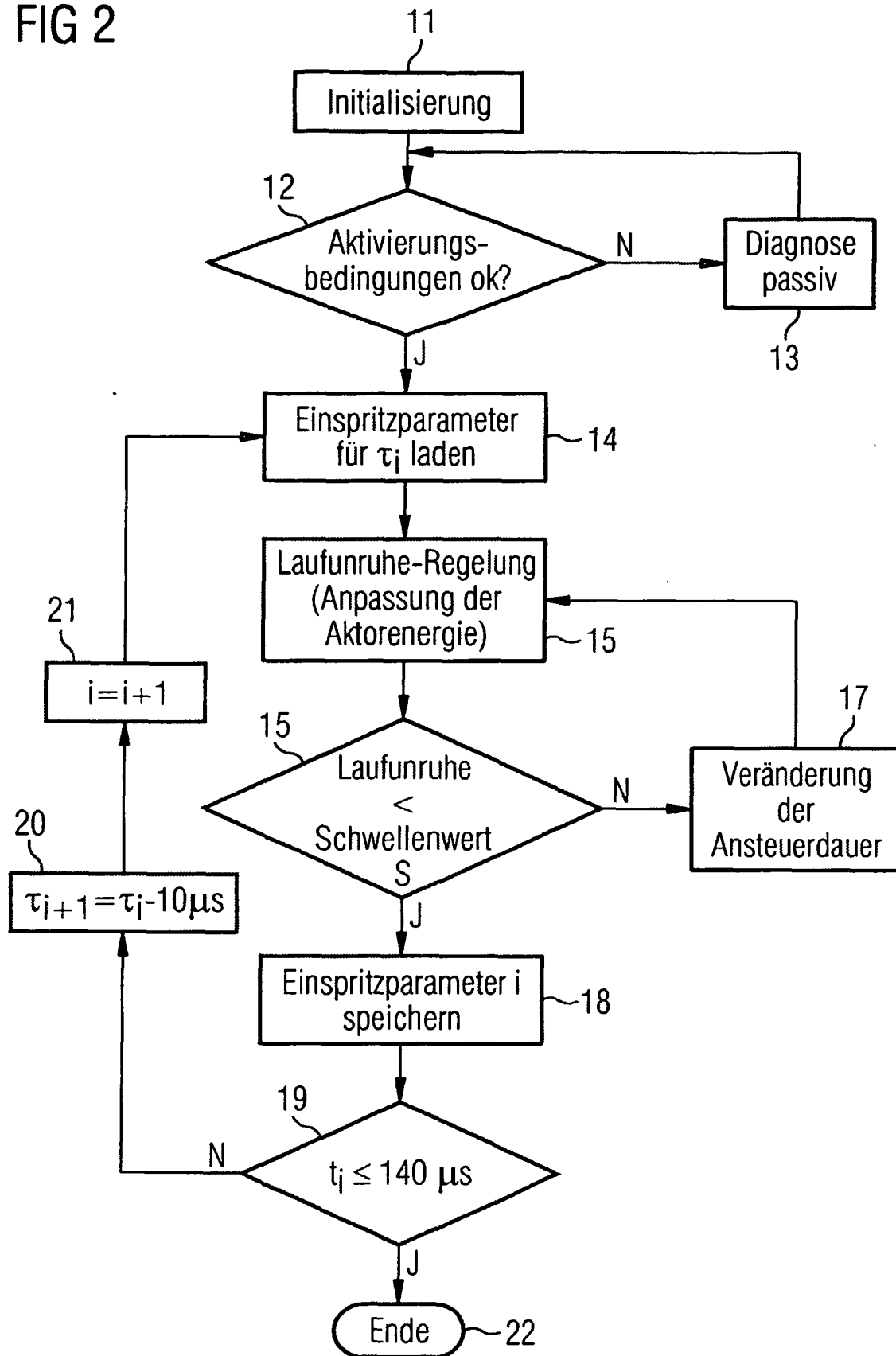


FIG 2



**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 19700711 A1 [0002] [0007]
- US 4667634 A [0008]
- DE 19855939 A1 [0008]
- DE 10012025 A1 [0008]