



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 32 608 B3** 2005.05.04

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 32 608.1**  
(22) Anmeldetag: **17.07.2003**  
(43) Offenlegungstag: –  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **04.05.2005**

(51) Int Cl.7: **F02D 41/04**  
**F02D 41/06, F02D 43/00**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

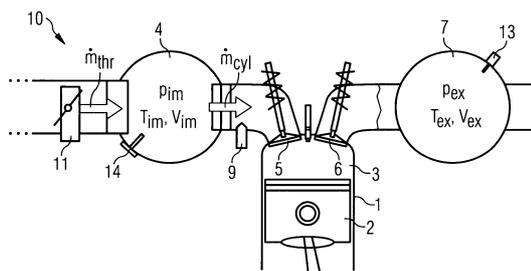
(71) Patentinhaber:  
**Siemens AG, 80333 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Henn, Michael, Dr., 38165 Lehre, DE; Jehle, Martin,  
93051 Regensburg, DE; Zhang, Hong, Dr., 93105  
Tegernheim, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
**WO 97/35 106 A2**  
**WO 96/32 579 A1**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Regeln einer Brennkraftmaschine sowie eine Vorrichtung zum Regeln einer Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln einer Brennkraftmaschine gemäß einem oder mehrerer physikalischer Modelle, wobei Messwerte und Stellwerte als dem physikalischen Modell zugrunde liegende Systemgrößen zur Verfügung gestellt werden, um die Brennkraftmaschine gemäß einer Regelung zu betreiben, wobei die Systemgrößen jeweils mit einem oder mehreren Adaptionswerten beaufschlagbar sind, um das physikalische Modell an reale Zustände der Brennkraftmaschine anzupassen, wobei anhand der Systemgrößen Schätzgrößen ermittelt werden, wobei in einer Messung der Schätzgrößen zugrunde liegenden physikalischen Größen Messgrößen ermittelt werden, wobei die Messgrößen bezüglich der Schätzgrößen bewertet werden, wobei gemäß einem Adaptionverfahren mit Hilfe der Messgrößen Adaptionswerte für zumindest einen Teil der Systemgrößen ermittelt werden, wobei abhängig von den Adaptionswerten ein erster Betriebsmodus oder ein zweiter Betriebsmodus eingenommen wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln einer Brennkraftmaschine gemäß eines oder mehrerer physikalischer Modelle, wobei Messwerte und Stellwerte als dem physikalischen Modell zugrunde liegende Systemgrößen zur Verfügung gestellt werden. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zum Regeln einer Brennkraftmaschine gemäß einem oder mehrerer physikalischer Modelle.

**[0002]** Motorsteuerungen für Brennkraftmaschinen verwenden üblicherweise physikalische Modelle, die Parameter aufweisen, über die der ideale Zustand der Brennkraftmaschine beschrieben werden kann. In der Realität weichen die zugrundeliegenden Parameter des physikalischen Modells im allgemeinen von den realen Parametern des Motors ab. Um die physikalischen Modelle mit den tatsächlichen Verhältnissen in der Brennkraftmaschine abzugleichen, werden Adaptionen der Parameter durchgeführt, die auf einem Vergleich zwischen gemessenen Größen und theoretisch zu erwartenden Werten basieren. Die Parameter werden adaptiert, indem diese mit einem oder mehreren Adaptionswerten beaufschlagt werden.

**[0003]** Es ist wünschenswert, dass die Adaptionen so ausgeführt werden, dass diejenigen Parameter der physikalischen Modelle mit Adaptionswerten beaufschlagt werden, die tatsächlich die Ursache für die Abweichung zwischen den physikalischen Modellen und den realen Verhältnissen in der Brennkraftmaschine sind. Werden diejenigen Parameter mit Hilfe von Adaptionswerten korrigiert, die tatsächlich die Ursache für die Abweichung zwischen Modell und Realität sind, liefern die physikalischen Modelle auch bei schnellen Änderungen des Betriebspunktes der Brennkraftmaschine genaue Ergebnisse, ohne dass ein erneutes Adaptieren erforderlich ist. Werden andere Parameter adaptiert, die nicht die Ursache für die Abweichung zwischen Modell und den realen Verhältnissen sind, so ist bei einer Änderung des Betriebspunktes in der Regel eine erneute Adaption erforderlich. Die Zuordnung von Abweichungen zu den richtigen Systemgrößen (Parametern) kann jedoch schwierig sein, da häufig die Anzahl der Sensoren, um die Größen zu messen, begrenzt ist.

**[0004]** Ein solches Problem liegt bei Brennkraftmaschinen vor, die über einen Saugrohrdrucksensor in einem Ansaugtrakt jedoch keinen Luftmassensensor verfügen, insbesondere bei Brennkraftmaschinen mit variabler Ventilsteuerung. Der Saugrohrdruck hängt in solchen Systemen vor allem vom Strömungsquerschnitt an einer Drosselklappe, und vom Schluckvermögen des Motors ab. Das Schluckvermögen des Motors ist im wesentlichen durch die Stellungen der Einlass- und Auslassventile bzw. durch die Drehzahl der Brennkraftmaschine bestimmt.

Stellt der Saugrohrdrucksensor einen Saugrohrdruck fest, der höher ist als der theoretisch zu erwartende Wert, so kann dies durch einen größeren Strömungsquerschnitt an der Drosselklappe als von dem entsprechenden Parameter angegeben oder durch ein geringeres Schluckvermögen als durch den entsprechenden Parameter angegeben, verursacht werden. Wird in diesem Zustand der Strömungsquerschnitt der Drosselklappe nach oben adaptiert, so wird die berechnete Luftmasse zu groß und die Einspritzmenge fälschlicherweise erhöht. Dies resultiert in einem zu fetten Luft-Kraftstoff-Verhältnis in dem Verbrennungsraum des Brennkraftmotors. Das zu fette Luft-Kraftstoff-Verhältnis kann mit der Lambda-Sonde erkannt werden. Das gemessene Luft-Kraftstoff-Verhältnis führt zu einer Adaption der eingespritzten Kraftstoffmenge, die dadurch reduziert wird, d.h. der entsprechende Adaptionswert für die Kraftstoffmenge wird verringert. Damit kann das gewünschte Luft-Kraftstoff-Verhältnis erhalten werden. Obwohl auf diese Weise das Modell für einen bestimmten Betriebspunkt des Brennkraftmotors in Einklang mit den Messwerten gebracht werden kann, werden dennoch falsche Parameter adaptiert, die bei einem anderen Betriebspunkt fehlerhafte Modellparameter bestimmen, so dass eine erneute Adaption durchgeführt werden muss. Dies würde dazu führen, dass das zugrunde liegende physikalische Modell bei sich ändernden Betriebszuständen ständig an den veränderten Betriebszustand angepasst werden muss. Dadurch kann eine Anpassung des physikalischen Modells nur bei einem statischen Betriebszustand durchgeführt werden.

## Stand der Technik

**[0005]** Aus der Druckschrift WO 97/35106 A2 ist ein solches physikalisches Modell zur Ermittlung des Luftmassenstroms bekannt, der mit Hilfe des gemessenen Saugrohrdrucks ermittelt wird. Es ist weiterhin eine Adaption vorgesehen, um die Modellparameter in einem stationären und in einem instationären Betrieb permanent zu korrigieren, um die Genauigkeit des gewählten physikalischen Modells anzupassen.

**[0006]** In der Druckschrift WO 96/32579 A1 ist ein Verfahren zum modellgestützten Bestimmen der in die Zylinder einer Brennkraftmaschine einströmenden Luftmasse beschrieben. Die Berechnung der tatsächlich in den Zylinder einströmenden Luftmasse geschieht mit Hilfe eines Saugrohrfüllungsmodells, das aus den Eingangsgrößen Drosselklappenöffnungswinkel, Umgebungsdruck und Parametern, die die Ventilsteuerung repräsentieren, eine Lastgröße liefert, auf dessen Grundlage die Einspritzzeit bestimmt wird. Außerdem wird diese Lastgröße zur Prädiktion herangezogen, um die Lastgröße zu einem Zeitpunkt abzuschätzen, der mindestens einen Abtastschritt später liegt als die aktuelle Berechnung der Einspritzzeit.

## Aufgabenstellung

**[0007]** Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Steuern einer Brennkraftmaschine gemäß eines oder mehrerer physikalischer Modelle vorzusehen, bei dem die Parameter des physikalischen Modells in verbesserter Weise adaptiert werden können. Weiterhin ist eine Vorrichtung zum Steuern einer Brennkraftmaschine vorgesehen, die eine Steuerung auf Grundlage eines oder mehrerer physikalischer Modelle aufweist,

**[0008]** Diese Aufgabe wird durch das Verfahren nach Anspruch 1 gelöst.

**[0009]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

**[0010]** Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Steuern einer Brennkraftmaschine gemäß eines oder mehrerer physikalischer Modelle vorgesehen. Messwerte und Stellwerte werden als Systemgrößen zur Verfügung gestellt, die dem physikalischen Modell zugrunde liegen. Die Systemgrößen sind jeweils mit einem oder mehreren Adaptionswerten beaufschlagbar, um das physikalische Modell an reale Zustände der Brennkraftmaschine anzupassen. Anhand der Systemgrößen werden Schätzgrößen ermittelt, wobei in einer Messung der Schätzgrößen zugrunde liegenden physikalischen Größen Messgrößen ermittelt werden. Die Messgrößen werden bezüglich der Schätzgrößen bewertet und gemäß einem Adaptionsverfahren mithilfe der Messgrößenadaptionswerte für zumindest einen Teil der Systemgrößen ermittelt. Abhängig von den Adaptionswerten wird ein erster Betriebsmodus oder ein zweiter Betriebsmodus eingenommen. Vorzugsweise wird im ersten Betriebsmodus das Adaptionsverfahren und in einem zweiten Betriebsmodus ein weiteres Adaptionsverfahren durchgeführt.

**[0011]** In einer bevorzugten Ausführungsform wird anhand einer ersten Systemgröße und/oder einer zweiten Systemgröße und/oder einer dritten Systemgröße eine erste Schätzgröße und eine zweite Schätzgröße ermittelt. In einer Messung einer der ersten Schätzgrößen zugrunde liegenden physikalischen Größe z. B. in einem Abgastrakt wird eine erste Messgröße ermittelt und in einer Messung einer der zweiten Schätzgrößen zugrunde liegenden physikalischen Größe z. B. in einem Ansaugtrakt eine zweite Messgröße ermittelt. Die erste Messgröße wird bezüglich der ersten Schätzgröße und die zweite Messgröße bezüglich der zweiten Schätzgröße bewertet, wobei mit Hilfe der ersten Messgröße ein erster Adaptionswert der ersten Systemgröße ermittelt wird. In einem ersten Betriebsmodus wird mit Hilfe der zweiten Messgröße ein zweiter Adaptionswert für die zweite Systemgröße ermittelt und ein dritter Ad-

aptionswert für die dritte Systemgröße unverändert belassen. Eine Änderung des zweiten Adaptionswertes bewirkt aufgrund der Regelung eine Änderung der ersten Systemgröße. Es wird ein zweiter Betriebsmodus eingenommen, wenn der ermittelte erste Adaptionswert um einen ersten absoluten oder relativen Abweichungswert und der im ersten Betriebsmodus ermittelte zweite Adaptionswert um einen zweiten absoluten oder relativen Abweichungswert von einem neutralen Wert abweichen. Im zweiten Betriebsmodus wird der zweite Adaptionswert für die zweite Systemgröße zurückgesetzt und mit Hilfe der zweiten Messgröße der dritte Adaptionswert für die dritte Systemgröße ermittelt, wobei der zweite Adaptionswert für die zweite Systemgröße nach dem Zurücksetzen unverändert belassen wird.

**[0012]** Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, dass bei einer Adaption der einem physikalischen Modell zugrunde liegenden Systemgrößen anhand von Messwerten diejenigen Systemgrößen adaptiert werden, die wahrscheinlich die Ursache für die Abweichung der tatsächlichen Verhältnisse und dem theoretischen Modell sind. Da in der Regel nur eine begrenzte Anzahl von Sensoren vorgesehen sind, die zur Adaption von Systemgrößen des physikalischen Modells genutzt werden können, ist häufig nicht eindeutig bestimmbar, welche der Systemgrößen aufgrund einer Abweichung eines gemessenen Wertes von einem theoretisch zu erwartenden Wert adaptiert werden muss. Dies ist dann der Fall, wenn die Abweichung von dem theoretisch zu erwartenden Wert durch zwei oder mehrere Abweichungen von Systemgrößen hervorgerufen werden kann.

**[0013]** Werden bei der Adaption des physikalischen Modells zwei Messgrößen ermittelt, wobei die Adaption der zweiten Systemgröße aufgrund der Regelung dazu führt, dass die erste Systemgröße erneut adaptiert werden muss, so kann mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass anstelle der zweiten Systemgröße die dritte Systemgröße adaptiert werden muss, wenn der ermittelte Adaptionswert um den ersten Abweichungswert und der zweite Adaptionswert um den zweiten Abweichungswert von dem neutralen Wert abweichen. Der neutrale Wert ist durch den Wert bestimmt, bei dem keine Abweichung vorhanden ist, d.h. keine Adaption vorgenommen werden musste oder werden muss.

**[0014]** Wenn also festgestellt wird, dass die zweite Systemgröße mit einem zweiten Adaptionswert beaufschlagt werden muss, der im Laufe der Adaption um einen bestimmten Abweichungswert geändert wurde, und gleichzeitig die erste Systemgröße mit einem ersten Adaptionswert beaufschlagt werden muss, so kann es naheliegend sein, anstelle der zweiten Systemgröße die dritte Systemgröße zu adaptieren und die bisherige Adaption der zweiten Systemgröße auf den Ausgangswert zurück zu führen.

**[0015]** Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass anhand bereits ermittelter Adaptionswerte festgestellt werden kann, ob die Adaption einer der Systemgrößen einer Abweichung einer der Systemgrößen zugrunde liegenden physikalische Größe entspricht oder ob eine Abweichung einer anderen Systemgröße vorliegt. Wenn dies festgestellt wird, wird erfindungsgemäß die Adaption der zweiten Systemgröße beendet und stattdessen eine Adaption der dritten Systemgröße durchgeführt.

**[0016]** Grundsätzlich können die Systemgrößen des physikalischen Modells in beliebiger Weise adaptiert werden, um für einen festgelegten Betriebspunkt geeignete adaptierte Systemgrößen bereitzustellen. Die Adaption derjenigen Systemgröße, die für die Abweichung zwischen der Schätzgröße und dem gemessenen Wert verantwortlich ist, ist jedoch vorteilhaft, da bei einer Änderung des Motorbetriebspunktes eine wesentliche Änderung der Adaptionswerte nicht notwendig ist, wenn die richtigen Systemgrößen adaptiert worden sind. Sind die falschen Systemgrößen adaptiert worden, so ist eine erneute Adaption bei jedem neuen Motorbetriebspunkt notwendig.

**[0017]** Vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass das Zurücksetzen des zweiten Adaptionswertes schrittweise erfolgt, so dass keine sprunghafte Änderung der Modellparameter zu einer sprunghaften Änderung der dritten Adaptionswertes führt. Dies könnte zu einem Schwingen der physikalischen Modellparameter führen, da eine Änderung einer Systemgröße häufig erst nach einer bestimmten Zykluszeit zu einer Änderung einer weiteren Systemgröße führt, so dass die Adaptionen der Systemgrößen zeitlich zueinander versetzt erfolgen würde.

**[0018]** Alternativ kann beim Zurücksetzen des zweiten Adaptionswertes der zweite Adaptionswert in eine entsprechende Änderung des ersten Adaptionswertes und/oder einen entsprechenden dritten Adaptionswert umgewandelt werden. Auf diese Weise ist es ebenfalls möglich, einen „sanften“ Übergang zwischen dem ersten und zweiten Betriebsmodus zu schaffen.

**[0019]** Vorzugsweise wird der zweite Betriebsmodus eingenommen, wenn der ermittelte erste Adaptionswert um den Betrag des ersten Abweichungswertes gegenüber dem neutralen Wert erhöht ist und der im ersten Betriebsmodus ermittelte zweite Adaptionswert um den Betrag des zweiten Abweichungswertes gegenüber dem neutralen Wert vermindert ist oder wenn der ermittelte erste Adaptionswert gegenüber dem neutralen Wert um den Betrag des ersten Abweichungswertes vermindert ist und der im ersten Betriebsmodus ermittelte zweite Adaptionswert gegenüber dem neutralen Wert um den Betrag des zweiten Abweichungswertes erhöht ist.

**[0020]** Es kann vorgesehen sein, dass bei jedem Starten der Brennkraftmaschine der erste Betriebsmodus eingenommen wird.

**[0021]** Es kann weiterhin vorgesehen sein, dass nach einer bestimmten Zeitdauer, nachdem der zweite Betriebsmodus eingenommen worden ist, von dem zweiten Betriebsmodus in den ersten Betriebsmodus übergegangen wird, ohne dass der dritte Adaptionswert zurückgesetzt wird. Auf diese Weise ist es möglich, dass nach der Adaption des dritten Adaptionswertes in dem ersten Betriebsmodus auch der zweite Adaptionswert wieder geändert werden kann, dass eine Adaption des dritten und des zweiten Adaptionswertes möglich ist.

**[0022]** Vorzugsweise wird als erste Systemgröße eine Größe, welche die Öffnungszeit eines Kraftstoffspritzventils beeinflusst, und/oder als zweite Systemgröße ein Strömungsquerschnitt des in den Ansaugtrakt eingelassenen Luftstroms und/oder als dritte Systemgröße eine Schluckkennlinie der Brennkraftmaschine oder eine Ventilstellung eines Einlass und/oder Auslassventils zur Verfügung gestellt.

**[0023]** Weiterhin kann vorgesehen sein, dass als erster Messwert das Luft-Kraftstoff-Verhältnis in einem Abgastrakt der Brennkraftmaschine und/oder als zweiter Messwert der Saugrohrdruck in einem Saugrohr der Brennkraftmaschine ermittelt wird.

#### Ausführungsbeispiel

**[0024]** Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung wird im folgenden anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

**[0025]** [Fig. 1](#) ein schematisches Modell einer Brennkraftmaschine;

**[0026]** [Fig. 2](#) ein Diagramm des Schluckverhaltens der Brennkraftmaschine; und

**[0027]** [Fig. 3](#) zwei Flussdiagramme zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0028]** In [Fig. 1](#) ist schematisch eine Brennkraftmaschine mit einem Zylinder **1** dargestellt. Der Zylinder **1** weist einen Kolben **2** und einen Verbrennungsraum **3** auf. Ein Kraftstoff-Luft-Gemisch wird in einem Ansaugrohr **4** bereit gestellt und kann über ein Einlassventil **5** in den Verbrennungsraum **3** eingelassen werden.

**[0029]** Ferner ist ein Auslassventil **6** vorgesehen, das an dem Verbrennungsraum **3** angeordnet ist, um Abgas in ein Abgasrohr **7** abzulassen. Die Stellung (relative Öffnungs- und Schließzeitpunkte) des Einlassventils **5** und des Auslassventils **6** sind von einer Regelungseinheit (nicht gezeigt) gesteuert, und wer-

den bezüglich des Schluckverhaltens des Gesamtsystems eingestellt.

**[0030]** Ebenso ist an dem Ansaugrohr **4** ein Einspritzventil **9** angeordnet, um Kraftstoff einzuspritzen. Die Menge des eingespritzten Kraftstoffs wird durch die Öffnungszeit des Einspritzventils **9** bestimmt. Die Öffnungszeit des Einspritzventils **9** wird durch die (nicht gezeigte) Regelungseinheit angesteuert. Das Ansaugrohr **4** ist weiterhin mit einer Luftzuführung **10** verbunden, um Luft mit einem bestimmten Luftmassenstrom dem Ansaugrohr **4** zuzuführen. In der Luftzuführung **10** ist eine Drosselklappe angeordnet, die verschwenkbar den Luftmassenstrom ins Ansaugrohr **4** steuern kann. Die Drosselklappe weist je nach Ansteuerung einen Strömungsquerschnitt auf. Die Drosselklappe **11** ist über die Regelungseinheit (nicht gezeigt) ansteuerbar.

**[0031]** Der Brennkraftmaschine nach [Fig. 1](#) liegt ein physikalisches Modell zugrunde, wonach die Massenströme in das Ansaugrohr **4** und aus dem Ansaugrohr **4** den Druck in dem Ansaugrohr **4** bestimmen. Der Druck in dem Ansaugrohr **4** ist für die Steuerung der Brennkraftmaschine erheblich, da sich über den Druck und über die Schluckkennlinie des Zylinders **1** der Massestrom in den Zylinder **1** bestimmt. Da die Stellungen der Einlass- und Auslassventile, d.h. deren Phasenlage, das Schluckverhalten des Zylinders **1** beeinflussen, ist die genaue Kenntnis des Schluckverhaltens notwendig. Gemäß einem dem der Brennkraftmaschine zugrunde liegenden physikalischen Modell ist der Druck in dem Ansaugrohr bestimmt durch:

$$\dot{p}_{im} = \frac{R_g \cdot T_{im}}{V_{im}} (\dot{m}_{thr} - \dot{m}_{cyl})$$

wobei  $T$  der Temperatur im Ansaugrohr,  $V_{im}$  dem Volumen des Ansaugrohrs,  $\dot{m}_{thr}$  dem Luftmassenstrom in das Ansaugrohr,  $\dot{m}_{cyl}$  im Wesentlichen der Einlassmenge des dem Zylinder **1** zugeführten Luft-Kraftstoff-Gemisches und  $R_g$  der Gaskonstanten des Luft-Kraftstoff-Gemisches entsprechen. Die dargestellte Gleichung stellt ein physikalisches Modell dar, durch das der Druck in dem Ansaugrohr **4** bestimmt werden kann.

**[0032]** Um die Brennkraftmaschine **1** betreiben zu können, ist die Kenntnis des Luftmassenstroms in das Ansaugrohr erforderlich. Aufgrund von Bauteiltoleranzen oder sonstigen Einflüssen auf die Brennkraftmaschine können sich Abweichungen von dem theoretisch zu erwartenden Wert und den realen Werten von Größen in der Brennkraftmaschine ergeben. Beispielsweise kann der Luftmassenstrom  $\dot{m}_{thr}$  in das Ansaugrohr **4** einen anderen Wert aufweisen, als aufgrund des Strömungsquerschnittes der Drosselklappe **11** zu erwarten ist. Eine solche Abweichung kann aufgrund von Fehlern oder sonstigen To-

leranzen auftreten.

**[0033]** Weiterhin ist es möglich, dass die eingespritzte Kraftstoffmenge durch das Einspritzventil **9** nicht der Menge entspricht, die aufgrund des dem Einspritzventil **9** vorgegebenen Ansteuersignals zu erwarten wäre. So wird die eingespritzte Kraftstoffmenge durch die Öffnungszeit des Einspritzventils **9** bestimmt, wobei es jedoch aufgrund von Bauteiltoleranzen zu Abweichungen beim Öffnungsquerschnitt des Einspritzventils **9** kommen kann. Weiterhin kann es ebenfalls aufgrund von Bauteilschwankungen zu Abweichungen zwischen dem errechneten Abgasstrom in das Ansaugrohr **4** und dem realen Abgasstrom in das Absaugrohr **4** kommen.

**[0034]** Über eine Lambda-Sonde **13** kann festgestellt werden, ob die Verbrennung in dem Zylinder **1** mit einem zu fetten Luft-Kraftstoff-Gemisch oder einem zu mageren Luft-Kraftstoff-Gemisch erfolgt ist. Über eine in der Regelungseinheit durchgeführte Lambda-Regelung wird der Wert für das Luft-Kraftstoff-Verhältnis einer Regelung zugeführt, mit der die Öffnungszeit des Einspritzventils **9** und somit die einzuspritzende Kraftstoffmenge gesteuert wird.

**[0035]** Um festzustellen, ob Abweichungen zwischen den theoretisch zu erwartenden Werten und den realen Werten vorliegen, ist in dem Ansaugrohr **4** ein Drucksensor **14** angeordnet, um den Druck im Ansaugrohr zu erfassen. Der Wert des Drucks in dem Ansaugrohr **4** wird der Regelungseinheit zur Verfügung gestellt. Weicht der gemessene Druck vom theoretisch im Ansaugrohr **4** zu erwartenden Druck ab, so muss eine Abweichung bei einer der zuvor genannten Systemgrößen vorliegen.

**[0036]** Um das zugrunde liegende physikalische Modell der Realität anzupassen, werden Adaptionswerte für jede der Systemgrößen vorgesehen. Die Adaptionswerte sind veränderbar und passen eine oder mehrere der Systemgrößen so an, dass das physikalische Modell für den eingenommenen Betriebspunkt in der Brennkraftmaschine geeignet ist, das Gesamtsystem zu beschreiben, so dass die Ansteuerung der Drosselklappe, des Einspritzventils **9** und der Einlass- und Auslassventile **5**, **6** für die Brennkraftmaschine optimiert durchgeführt werden kann.

**[0037]** Weicht der gemessene Druck im Ansaugrohr **4** von dem theoretisch zu erwartenden Wert ab, so kann dies zum einen auf einen fehlerhaft bestimmten Luftmassenstrom in das Ansaugrohr **4** und zum anderen auf ein abweichendes Schluckverhalten des Zylinders **1** gegenüber einem zu erwartenden Schluckverhalten hindeuten. Bei einem gemessenen Druck, der größer ist als der theoretisch zu erwartende Wert, bedeutet dies, dass der Luftmassenstrom der angesaugten Luft in das Ansaugrohr **4** größer ist

als aufgrund des Strömungsquerschnitts der Drosselklappe **11** zu erwarten ist. Der erhöhte Druck im Ansaugrohr **4** kann jedoch auch durch ein abweichendes Schluckverhalten zustande kommen, bei dem weniger des Luft-Kraftstoff-Gemisches in den Verbrennungsraum **3** eingelassen wird als aufgrund der Schluckkennlinie vorgegeben ist. Da eine Adaption aufgrund des gemessenen Drucks gleichzeitig nur entweder am Strömungsquerschnitt der Drosselklappe oder an dem Schluckverhalten sinnvoll vorgenommen werden kann, kann es sein, dass eine Adaption an einer Systemgröße vorgenommen wird, die nicht für die Abweichung des Saugrohrdrucks verantwortlich ist.

**[0038]** Wird die Systemgröße des Strömungsquerschnitts adaptiert, obwohl der vergrößerte Druck im Ansaugrohr **4** durch ein abweichendes Schluckverhalten des Zylinders **1** hervorgerufen wird, so wird die berechnete Luftmasse zu groß und die Einspritzmenge fälschlicherweise erhöht. Die erhöhte Einspritzmenge führt zu einem zu fetten Luft-Kraftstoff-Verhältnis, was mit Hilfe der Lambda-Sonde festgestellt werden kann. Mit der Lambda-Sonde wird dann eine weitere Adaption bezüglich der Einspritzmenge durchgeführt, wobei die Kraftstoffmenge reduziert wird, um das gewünschte Luft-Kraftstoff-Verhältnis zu erhalten. Obwohl auf diese Weise das Modell für einen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine in Einklang mit den Messwerten gebracht werden kann, werden die falschen Systemgrößen adaptiert, die voraussichtlich bei einem anderen Betriebspunkt nicht angepasst sind. Bei einem anderen Betriebspunkt muss dann erneut eine Adaption durchgeführt werden, die eine bestimmte Zeit benötigt, während der die Brennkraftmaschine nicht optimal arbeitet.

**[0039]** Besteht die Ursache eines erhöhten Saugrohrdrucks darin, dass das Schluckverhalten des Zylinders **1** geringer ist als der theoretisch zu erwartende Wert, d.h. es wird bei einer bestimmten Ventilöffnungsdauer und Ventilstellung eine geringere Menge des Luft-Kraftstoff-Gemisches in den Verbrennungsraum **3** eingelassen, so wäre es sinnvoll, mit Hilfe von einem oder mehreren Adaptionswerten das Schluckverhalten des Zylinders **1** anzupassen. Wird stattdessen der Adaptionswert des Strömungsquerschnitts erhöht, so bewirkt eine weitere Adaption der Einspritzmenge aufgrund des gemessenen Lambda-Wertes eine Änderung des Adaptionswerts für die Einspritzmenge. Da sowohl das Beaufschlagen des Strömungsquerschnitts mit einem Adaptionswert als auch das Beaufschlagen der Einspritzmenge mit einem Adaptionswert nicht die reale Ursache der Abweichung des Saugrohrdrucks beschreiben, ist es wahrscheinlich, dass bei einem veränderten Betriebspunkt der Brennkraftmaschine eine erneute Adaption aller Systemgrößen durchgeführt werden muss.

**[0040]** In [Fig. 2](#) ist die Kennlinie des Schluckverhal-

tens des Zylinders **1** dargestellt. Die Schluckkennlinie stellt eine Gerade mit einem Offsetwert  $\eta_{\text{OFS}}$  und einer Steigung  $\eta_{\text{SLOP}}$  dar. Die Schluckkennlinie beschreibt eine Abhängigkeit zwischen dem Fluss des Luft-Kraftstoff-Gemisches in dem Zylinder und dem Druck in dem Saugrohr. Der Offsetwert  $\eta_{\text{OFS}}$ , die Steigung  $\eta_{\text{SLOP}}$  sind Größen, die sich aus den jeweiligen Ventilstellungen der Einlass- und Auslassventile, der Drehzahl des Motors und eventuell anderen Größen ergeben. Bei einer Adaption des Schluckverhaltens können sowohl die Größen  $\eta_{\text{OFS}}$  und/oder  $\eta_{\text{SLOP}}$  als auch die Größen für die Ventilstellungen mit Adaptionswerten beaufschlagt werden.

**[0041]** In [Fig. 3](#) sind zwei Flussdiagramme zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Adaption der Systemgrößen, Strömungsquerschnitt, Schluckverhalten und Einspritzmenge dargestellt. Die Adaption wird mit Hilfe des gemessenen Saugrohrdrucks und des Lambda-Werts des aus dem Verbrennungsraum **3** ausströmenden Abgases durchgeführt. Das Adaptionsverfahren wird ausgeführt, sobald die Brennkraftmaschine gestartet ist. Im wesentlichen laufen zwei Adaptionen, nämlich die Adaption der Einspritzmenge und die Adaption des Strömungsquerschnittes bzw. des Schluckverhaltens parallel. Die Adaptionen können auch nacheinander im Wechsel durchgeführt werden.

**[0042]** In [Fig. 3](#) sind zwei Flussdiagramme dargestellt. Das erste Flussdiagramm zeigt die regelmäßig ablaufende Adaption der Einspritzmenge gemäß dem ermittelten Lambdawert im Abgasrohr **7**. Nach dem Starten der Brennkraftmaschine in einem Schritt S1 wird zunächst beispielsweise anhand der Drehzahl der Brennkraftmaschine und anhand des Luftmassenstroms ein Verhältnis des Luft-Kraftstoff-Gemisches berechnet, das in den Verbrennungsraum **3** eingelassen werden soll, um den gewünschten Betriebszustand der Brennkraftmaschine zu erreichen (Schritt S2). Das Luft-Kraftstoff-Verhältnis ist im Idealfall im wesentlichen ausgeglichen, so dass das Luft-Kraftstoff-Gemisch weder zu fett noch zu mager ist. Stellt die Lambda-Sonde **13** in einem Schritt S3 fest, dass das Gemisch fetter ist als zuvor berechnet, so wird ein Adaptionswert für die Einspritzmenge vermindert (Schritt S5), so dass die einzuspritzende Kraftstoffmenge reduziert wird. Dies kann schrittweise, d.h. gemäß einem festgelegten Inkrement oder anhand der durch die Lambda-Sonde **13** gemessenen Größe erfolgen.

**[0043]** Wird erst in einem Schritt S4 festgestellt, dass das Luft-Kraftstoff-Gemisch magerer ist als berechnet, so muss die eingespritzte Kraftstoffmenge erhöht werden, indem der betreffende Adaptionswert vergrößert wird (Schritt S6). Das Adaptionsverfahren zum Adaptieren der Einspritzmenge wird periodisch durchgeführt, so dass sich der Adaptionswert für die Einspritzmenge nach mehreren Perioden auf einen

Wert einstellt, bei dem das gemessene Luft-Kraftstoff-Verhältnis dem berechneten Luft-Kraftstoff-Verhältnis entspricht.

**[0044]** Das zweite Flussdiagramm der [Fig. 3](#) zeigt die Adaption des Strömungsquerschnitts bzw. des Schluckverhaltens der Brennkraftmaschine gemäß der Erfindung. Der Ablauf des zweiten Flussdiagramms läuft im wesentlichen parallel zum Ablauf des ersten Flussdiagramms ab.

**[0045]** Nach dem Starten des Motors werden in einem Schritt S11 die Systemgrößen zur Regelung der Brennkraftmaschine gemessen oder rechnerisch ermittelt und aus den Systemgrößen der theoretisch zu erwartende Saugrohrdruck im Ansaugrohr **4** bestimmt. Anschließend wird in einem Schritt S12 mithilfe des Drucksensors **14** der Druck in dem Saugrohr gemessen und mit dem berechneten Saugrohrdruck verglichen. Wird festgestellt, dass der Saugrohrdruck größer ist als berechnet, so wird zunächst angenommen, dass dies durch einen größeren Strömungsquerschnitt an der Drosselklappe **11** hervorgerufen ist. In diesem Fall wird der Strömungsquerschnitt nach oben adaptiert (Schritt S13), so dass der berechnete Luftmassenstrom größer wird. Besteht die Ursache des zu hohen Saugrohrdruckes darin, dass aufgrund eines gegenüber dem zu erwartenden Wert vermindertes Schluckverhalten vorliegt und somit weniger Luft-Kraftstoff-Gemisch in den Verbrennungsraum gelangt als berechnet, wird der Luftmassenstrom durch den entsprechenden Adaptionwert zu groß berechnet. Durch den zu groß berechneten Luftmassenstrom muss aufgrund der Regelung, die ein bestimmtes Luft-Kraftstoff-Verhältnis beibehalten soll, die Einspritzmenge des Kraftstoffs in einem Schritt S14 erhöht werden. Das Erhöhen der Einspritzmenge führt dann zu einem zu fetten Luft-Kraftstoff-Gemisch, da die berechnete Luftmasse größer ist als die real vorhandene Luftmasse im Ansaugrohr **4**. Die Lambda-Adaption gemäß dem ersten Flussdiagramm der [Fig. 3](#) verringert dann die Einspritzmenge, um das gewünschte Luft-Kraftstoff-Verhältnis zu erhalten.

**[0046]** Ist der gemessene Saugrohrdruck geringer als berechnet (Schritt S15), so wird der Adaptionwert für den Strömungsquerschnitt verringert, so dass die berechnete Luftmasse verringert ist, und entsprechend der Regelung der Brennkraftmaschine die Einspritzmenge vermindert wird. Dies führt zu einer Abmagerung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses, wobei bei einem zu mageren Luft-Kraftstoff-Verhältnis die Einspritzmenge erhöht wird.

**[0047]** Nach dem Durchlaufen der Adaption für den Strömungsquerschnitt wird überprüft, ob aufgrund der Adaptionswerte für die Einspritzmenge und den Strömungsquerschnitt darauf geschlossen werden kann, dass eine erhebliche Abweichung des realen

Schluckverhaltens von idealerweise zu erwartenden Schluckverhaltens vorliegt. Dies ist mit einiger Wahrscheinlichkeit der Fall, wenn der Adaptionwert für den Strömungsquerschnitt vergrößert ist und der Adaptionwert für die Einspritzmenge reduziert ist, oder umgekehrt. Vorzugsweise werden für eine Abweichung des Adaptionwertes von einem neutralen Wert bestimmte Schwellwerte für die prozentuale oder absolute Abweichung angenommen. So kann beispielsweise von der Adaption des Strömungsquerschnitts zur Adaption des Schluckverhaltens der Brennkraftmaschine umgeschaltet werden, wenn der Adaptionwert für den Strömungsquerschnitt um mindestens einen ersten prozentualen Anteil, z. B. um mindestens 10%, gegenüber dem neutralen Wert erhöht ist und der Adaptionwert für die Einspritzmenge um mindestens einen zweiten prozentualen Anteil, beispielsweise ebenfalls um mindestens 10%, verringert ist. Dies gilt auch, wenn der Adaptionwert für den Strömungsquerschnitt um den ersten prozentualen Anteil gegenüber dem neutralen Wert, verringert ist und der Adaptionwert für die Einspritzmenge um den zweiten prozentualen Anteil gegenüber dem entsprechenden neutralen Wert, erhöht ist (Schritt S18). Ist dies nicht der Fall, wird zu Schritt S11 zurückgesprungen und die Adaption des Strömungsquerschnitts erneut durchgeführt. Werden diese Abweichungen jedoch festgestellt, werden in einem folgenden Schritt S19 der Adaptionwert für den Strömungsquerschnitt zurückgesetzt und die Adaption für das Schluckverhalten des Motors beginnt. Ist der gemessene Saugrohrdruck höher als erwartet (Schritt S20), so wird durch Beaufschlagen der geeigneten Werte  $\eta_{SLOP}$ ,  $\eta_{OFS}$  das Schluckverhalten entsprechend angepasst (Schritt S21). Alternativ können die Adaptionswerte auch auf die entsprechenden Größen für die Ventilstellungen angewendet werden. Die Adaptionswerte sind so gewählt, dass das berechnete Schluckverhalten verringert ist. Ist der gemessene Saugrohrdruck niedriger als erwartet (Schritt S22), so werden der Adaptionwert bzw. die Adaptionswerte für das Schluckverhalten der Brennkraftmaschine entsprechend erhöht (Schritt S23). Im Wesentlichen wird gleichzeitig die Adaption der Einspritzmenge fortgeführt, bei der ein geänderter Adaptionwert ermittelt wird, mit dem die Einspritzmenge beaufschlagt wird.

**[0048]** Es ist gemäß einer Ausführungsform möglich, dass das Rücksetzen des Adaptionwertes für den Strömungsquerschnitt schrittweise erfolgt und beispielsweise mit jedem Durchlauf des Adaptionsverfahrens für das Schluckverhalten der Brennkraftmaschine um einen bestimmten Wert in Richtung des neutralen Wertes zurückgesetzt wird. Alternativ ist es auch möglich, den Adaptionwert für den Strömungsquerschnitt auf einmal auf den neutralen Wert zurückzusetzen und gleichzeitig gemäß einer vorbestimmten Berechnungsformel den Adaptionwert für das Schluckverhalten der Brennkraftmaschine rech-

nerisch anzupassen. In beiden Fällen kann ein sprunghaftes Ändern der Systemgrößen vermieden werden, so dass keine großen Soll-Ist-Abweichungen auftreten können und ein Schwingen der Regelung vermieden werden kann. Im allgemeinen wird von der Adaption der Schluckkennlinie nicht mehr abgewichen, so dass eine weitere Adaption des Strömungsquerschnitts nicht möglich ist. Es können jedoch Bedingungen definiert werden (Schritt S24), die es ermöglichen, dass eine Adaption des Strömungsquerschnitts erneut vorgenommen wird. Eine solche Bedingung kann beispielsweise nach Ablauf einer bestimmten Zeitdauer sein, so dass es nach der Adaption der Schluckkennlinie möglich ist, eine erneute Adaption des Strömungsquerschnitts durchzuführen. Dies ist sinnvoll, da es vorkommen kann, dass sowohl Schluckkennlinie als auch Strömungsquerschnitt Abweichungen aufweisen und somit korrigiert werden müssen.

**[0049]** Die Adaption des Schluckverhaltens der Brennkraftmaschine kann dadurch erfolgen, dass Parameter der Ventilsteuerung korrigiert werden, beispielsweise durch eine additive Korrektur der Ventilüberschneidung oder der Einlass- oder Auslassventilposition.

**[0050]** Das beschriebene Verfahren steht lediglich beispielhaft für eine Möglichkeit die Adaption von Systemgrößen in einem Gesamtsystem zu optimieren, die am wahrscheinlichsten die Ursache für die Abweichung zwischen berechneten Werten und den gemessenen Werten ist.

**[0051]** Allgemein besteht die Erfindung darin, dass bei der Regelung einer Brennkraftmaschine mehrere Abweichungen zwischen Messgrößen und zu erwartenden Werten oder mehreren Adaptionswerten hinsichtlich ihrer Größe und ihres Vorzeichens bewertet werden und die entsprechenden Systemgrößen für die Adaption so ausgewählt werden, dass die mit der größten Wahrscheinlichkeit für die Abweichung zwischen Modell und Realität Verantwortlichen adaptiert werden. Als Kriterium kann generell hierbei verwendet werden, dass die gewichtete Summe aller Korrekturen, die für einen Abgleich von modellierten Größen und Messwerten erforderlich sind, minimal wird. Hierbei werden vorzugsweise auch mehrere unterschiedliche Betriebspunkte der Brennkraftmaschine betrachtet. Als Kriterium kann auch verwendet werden, dass die Adaptionswerte für ein Abgleichen von modellierten Größen und Messwerten über die betrachteten Betriebspunkte möglichst wenig variieren.

**[0052]** Allgemein gesprochen wird eine Systemgröße für eine Korrektur ausgewählt, wenn mehrere Abweichungen zwischen Messgrößen und zu erwartenden Werten oder mehrere Adaptionswerte auf eine Abweichung dieser Systemgröße in die gleiche Richtung hindeuten. Es ist nicht unbedingt notwendig, die

Systemgrößen, die mit der größten Wahrscheinlichkeit die Modellabweichung verursachen, über ein Adaptionungsverfahren anzupassen, es können auch direkt passende Korrekturwerte errechnet werden, mit denen die entsprechende Systemgröße beaufschlagt wird. Es ist darauf zu achten, dass evtl. die Adaptionswerte der anderen Systemgrößen entsprechend reduziert werden, um ein Schwingen des Regelsystems zu vermeiden.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Regeln einer Brennkraftmaschine gemäß einem oder mehrerer physikalischer Modelle, wobei Messwerte und Stellwerte als dem physikalischen Modell zugrundeliegende Systemgrößen zur Verfügung gestellt werden, um die Brennkraftmaschine gemäß einer Regelung zu betreiben, wobei die Systemgrößen jeweils mit einem oder mehreren Adaptionswerten beaufschlagbar sind, um das physikalische Modell an reale Zustände der Brennkraftmaschine anzupassen, wobei anhand der Systemgrößen Schätzgrößen ermittelt werden, wobei in einer Messung der den Schätzgrößen zugrundeliegenden physikalischen Größen Messgrößen ermittelt werden, wobei die Messgrößen bezüglich der Schätzgrößen bewertet werden, wobei gemäß einem Adaptionungsverfahren mit Hilfe der Messgrößen Adaptionswerte für zumindest einen Teil der Systemgrößen ermittelt werden, wobei abhängig von den Adaptionswerten ein erster Betriebsmodus oder ein zweiter Betriebsmodus eingenommen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei im ersten Betriebsmodus das Adaptionungsverfahren und im zweiten Betriebsmodus ein weiteres Adaptionungsverfahren durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei anhand einer ersten Systemgröße und/oder einer zweiten Systemgröße und/oder einer dritten Systemgröße eine erste Schätzgröße ermittelt wird, wobei anhand der ersten Systemgröße und/oder zweiten Systemgröße und/oder dritten Systemgröße eine zweite Schätzgröße ermittelt wird, wobei in einer Messung einer der ersten Schätzgröße zugrundeliegenden physikalischen Größe in einem Abgastrakt, eine erste Messgröße ermittelt wird und in einer Messung einer der zweiten Schätzgröße zugrundeliegenden physikalischen Größe in einem Ansaugtrakt, eine zweite Messgröße ermittelt wird, wobei die erste Messgröße bezüglich der ersten Schätzgröße und die zweite Messgröße bezüglich der zweiten Schätzgröße bewertet wird, wobei mit Hilfe der ersten Messgröße ein erster Adaptionswert der ersten Systemgröße ermittelt wird,

wobei in dem ersten Betriebsmodus mit Hilfe der zweiten Messgröße ein zweiter Adaptionswert für die zweite Systemgröße ermittelt und ein dritter Adaptionswert für die dritte Systemgröße unverändert belassen wird, wobei eine Änderung des zweiten Adaptionswertes aufgrund der Regelung eine Änderung der ersten Systemgröße bewirkt, wobei der zweite Betriebsmodus eingenommen wird, wenn der ermittelte erste Adaptionswert um einen ersten absoluten oder relativen Abweichungswert und der im ersten Betriebsmodus ermittelte zweite Adaptionswert um einen zweiten absoluten oder relativen Abweichungswert von einem neutralen Wert abweichen, wobei im zweiten Betriebsmodus der zweite Adaptionswert für die zweite Systemgröße zurückgesetzt wird, und mit Hilfe der zweiten Messgröße der dritte Adaptionswert für die dritte Systemgröße ermittelt wird und der zweite Adaptionswert für die zweite Systemgröße nach dem Rücksetzen unverändert belassen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das Zurücksetzen des zweiten Adaptionswertes schrittweise erfolgt.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei beim Zurücksetzen des zweiten Adaptionswertes der zweite Adaptionswert in eine entsprechenden Änderung des ersten Adaptionswertes und/oder einen entsprechenden dritten Adaptionswert umgewandelt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei der zweite Betriebsmodus eingenommen wird, wenn der ermittelte erste Adaptionswert um den Betrag des ersten Abweichungswertes gegenüber dem neutralen Wert erhöht ist und der im ersten Betriebsmodus ermittelte zweite Adaptionswert um den Betrag des zweiten Abweichungswertes gegenüber dem neutralen Wert vermindert ist, oder wenn der ermittelte erste Adaptionswert um den Betrag des ersten Abweichungswertes gegenüber dem neutralen Wert vermindert ist und der im ersten Betriebsmodus ermittelte zweite Adaptionswert um den Betrag des zweiten Abweichungswertes gegenüber dem neutralen Wert erhöht ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei bei jedem Starten der Brennkraftmaschine der erste Betriebsmodus eingenommen wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7, wobei nach einer bestimmten Zeitdauer von dem zweiten Betriebsmodus in den ersten Betriebsmodus übergegangen wird, ohne dass der dritte Adaptionswert zurückgesetzt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 8, wobei als erste Systemgröße eine Größe, welche die Öffnungszeit eines Kraftstoffeinspritzventils beein-

flusst, und/oder als zweite Systemgröße der Strömungsquerschnitt des in den Ansaugtrakt eingelassenen Luftstromes und/oder als dritte Systemgröße eine Schluckkennlinie der Brennkraftmaschine oder eine Ventilstellung eines Einlaß- und/oder Auslaßventiles zur Verfügung gestellt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 9, wobei als erster Messwert das Luft-Kraftstoff-Verhältnis in einem Abgastrakt der Brennkraftmaschine und/oder als zweiten Messwert der Saugrohrdruck in einem Saugrohr der Brennkraftmaschine ermittelt wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG 1

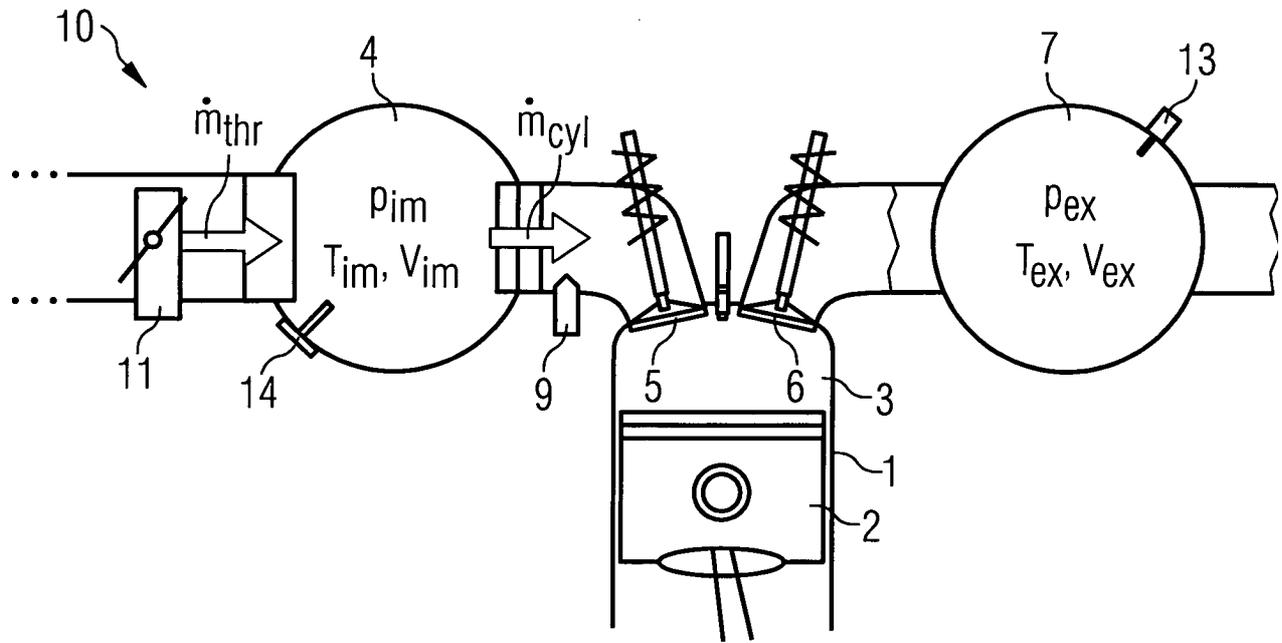


FIG 2

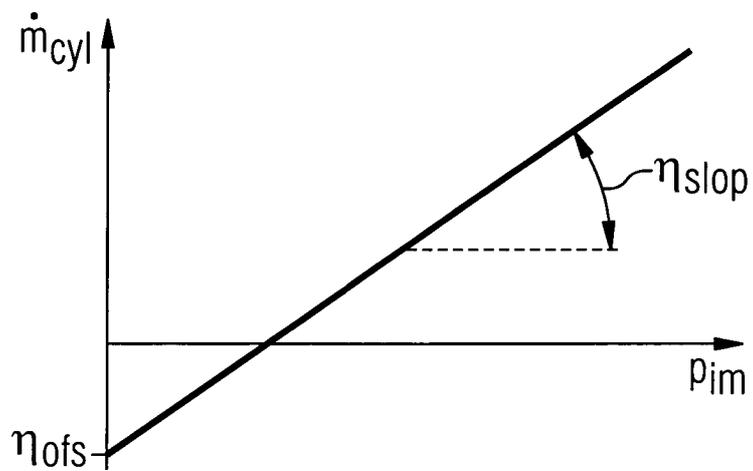


FIG 3

