



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 56 713 B4 2009.01.15**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 56 713.5**
 (22) Anmeldetag: **02.12.2003**
 (43) Offenlegungstag: **08.07.2004**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **15.01.2009**

(51) Int Cl.⁸: **F02D 41/00 (2006.01)**
F02D 41/26 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
822/2002 U 05.12.2002 AT

(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH, Graz, AT

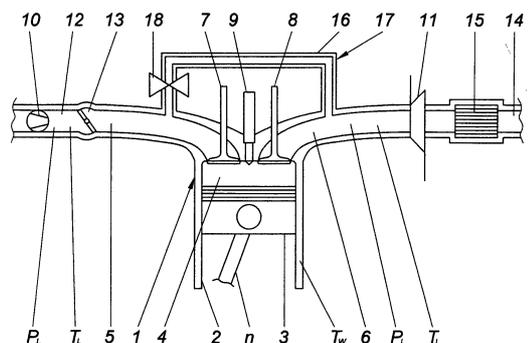
(74) Vertreter:
Katscher Habermann Patentanwälte, 64293 Darmstadt

(72) Erfinder:
Roduner, Christian, Dr., Graz, AT; Schögl, Ingemar, Dipl.-Ing., Graz, AT

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 199 14 910 A1
EP 10 45 123 A2
Pischinger, R., Kraßing, G.: Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine, Springer Verlag Wien, 1989
, ISBN 3-211-82105-8, S.6-7, 123-125, 208, 234-238
; Kuchling: Taschenbuch der Physik, Verlag Harri Dentsch, Frankfurt Main, 12.Auflage, 1989, S.237;

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Regelung bzw. Steuerung einer in einem Kreisprozess arbeitenden Brennkraftmaschine**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Regelung bzw. Steuerung einer in einem Kreisprozess (20; 30) arbeitenden Brennkraftmaschine (1) mit innerer Verbrennung unter Verwendung von Berechnungsmodellen, bei dem der Kreisprozess (20; 30) oder Abschnitte des Kreisprozesses (20; 30) der Brennkraftmaschine (1) in einzelne Teilprozesse (21 bis 28; 31 bis 38) unterteilt wird bzw. werden, und der Betriebszustand innerhalb jedes Teilprozesses (21 bis 28; 31 bis 38) anhand von Messwerten, gespeicherten und/oder applizierten Daten bestimmt wird, um Steuergrößen für den Betrieb der Brennkraftmaschine zu ermitteln, dadurch gekennzeichnet, dass die zeitlichen Grenzen der Teilprozesse (21 bis 28; 31 bis 38) zumindest teilweise in Abhängigkeit von zumindest einem variablen Motorbetriebsparameter berechnet werden, dass die Berechnungsmodelle für die zeitlich hintereinander abfolgenden einzelnen Teilprozesse (21 bis 28; 31 bis 38) von zumindest teilweise unterschiedlichen Annahmen ausgehen und/oder unterschiedliche Vereinfachungen aufweisen, wobei die Berechnungsmodelle für die einzelnen Teilprozesse (21 bis 28; 31 bis 38) von einem Anfangszustand ausgehen und während der...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung bzw. Steuerung einer in einem Kreisprozess arbeitenden Brennkraftmaschine mit innerer Verbrennung gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Durch in den letzten Jahren bei Brennkraftmaschinen eingeführte Innovationen wie Turbolader, Abgasrückführung, Mehrfacheinspritzung und/oder teil-/vollvariable Ventilsteuerungen hat sich die Anzahl der für die Regelung zur Verfügung stehenden Stellgrößen deutlich erhöht. Die sich aus der Kombination der Stellgrößen ergebenden Möglichkeiten sind im allgemeinen sehr komplex und mit herkömmlichen globalen Ansätzen, wie Mittelwertmodellen oder kennfeld-basierten Modellen nur unzureichend erfassbar.

[0003] Die hohen Ansprüche an moderne Verbrennungskraftmaschinen betreffend Verbrauch, Emissionen und Fahreigenschaften erfordern Regelungskonzepte, die ohne Erfassung des aktuellen Motorzustandes nicht durchführbar sind. Da viele der für die Regelung notwendigen Größen nicht oder nur durch Verwendung teurerer (das heißt für die Serienproduktion ungeeigneter) Sensoren messbar sind, ist die Verwendung von neuartigen Berechnungsmodellen zwingend.

[0004] Die Rechenkapazitäten innerhalb der Motorsteuerung sind stark limitiert, woraus hohe Anforderungen an die Echtzeitfähigkeit derartiger Berechnungsmodelle entstehen.

[0005] Derzeit verfügbare Verfahren zur Berechnung des Betriebszustandes einer Brennkraftmaschine erfüllen die Anforderungen an moderne Regelungskonzepte nicht oder nur unbefriedigend. Die verwendeten Ansätze können in drei Gruppen eingeteilt werden:

- Numerische Verfahren beruhen auf einer numerischen Integration der für den Kreisprozess charakteristischen Zusammenhänge über die Dauer des Kreisprozesses (z. B. Vier Takte = 720° Kurbelwinkel). Durch den hohen Rechenaufwand sind derartige Verfahren unter den im Serieneinsatz vorliegenden Bedingungen nicht echtzeitfähig.
- Zylinderdruckgestützte Verfahren verwenden den von einem geeigneten Sensor gemessenen und mit geeigneten thermodynamischen Verfahren ausgewerteten Zylinderdruckverlauf für die Berechnung des aktuellen Motorbetriebszustandes. Die für derartige Verfahren verfügbaren Sensoren sind jedoch für den Serieneinsatz zu teuer bzw. nur für den Einsatz am Prüfstand geeignet.
- Weitere bekannte Verfahren beruhen auf Annahmen und/oder Einschränkungen, die auf einer bestimmten Konfiguration der Brennkraftmaschi-

ne basieren. Derartige Modelle zielen nur auf Teilfunktionen ab und können nicht verallgemeinert werden.

[0006] In der DE 199 14 910 A1 wird ein Hybridmodell zur Modellierung eines Gesamtprozesses in einem Fahrzeug, bestehend aus zumindest einem physikalischen und einem neuronalen Teilmodell, beschrieben. Dabei wird ein Prozessanteil aus dem Gesamtprozess ausschließlich mit dem physikalischen Modell simuliert und ein weiterer Prozessanteil aus dem Gesamtprozess ausschließlich mit dem neuronalen Modell simuliert. Der Gesamtprozess wird durch eine Zusammenführung der jeweils separat simulierten Prozesse beschrieben.

[0007] Im Fachbuch "Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine", PISCHINGER R., KRASSNIG G., SPRINGER VERLAG WIEN, 1989, ISBN 3-211-82105-8, Seite 6 bis 7, 123 bis 125, 208, 234 bis 238 wird die Modellierung von Kreisprozessen behandelt.

[0008] Des weiteren ist aus der EP 1 045 123 A2 ein Verfahren zur modellbasierten Regelung einer Brennkraftmaschine bekannt.

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zu entwickeln, mit welchem sehr einfach und rasch, jedoch dennoch ausreichend genau der Betriebszustand einer Brennkraftmaschine bestimmt werden kann, um auch mit im Serienbetrieb verfügbaren elektronische Steuereinheiten (ECU) Steuerungsgrößen gewinnen zu können, die zur Regelung bzw. Steuerung der Brennkraftmaschine geeignet sind.

[0010] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1. Der zumindest eine variable Motorbetriebsparameter wird gemessen oder ist – von Motorbetriebszustand abhängig –, beispielsweise durch die elektronische Steuereinheit (ECU) vorgegeben.

[0011] Wesentlich an der Erfindung ist, dass nicht einfach eine Verkleinerung der Intervalle erfolgt, innerhalb der die einzelnen Berechnungen durchgeführt werden. Die Grenzen der Teilprozesse sind nicht starr an vorbestimmte Kurbelwinkel gebunden, sondern werden von vorbestimmten Motorbetriebsparametern abhängig gemacht. Der dadurch erzielbare Vorteil ist, dass auch kennfeldgesteuerte Brennkraftmaschinen mit variablem Ventiltrieb, variablem Einspritzzeitpunkt und dgl. in geeigneter Weise abgebildet werden können. Innerhalb der einzelnen Teilprozesse können geeignete Vereinfachungen gemacht werden, die eine vollständig analytische Abbildung ermöglichen, wobei jedoch die Vereinfachungen aufgrund ihrer genauen Anpassung an diesen Teilbereich des Arbeitszyklus keine störende Verschlechterung der Abbildungsqualität bewirken.

Maßgebend ist, dass sich innerhalb eines Teilprozesses die Betriebsbedingungen im Wesentlichen nicht ändern.

[0012] Wenn beispielsweise ein Teilprozess einen Abschnitt des Ansaugtaktes beschreibt, der mit der vollständigen Öffnung des Einlassventils beginnt und an einem Punkt endet, in dem das Einlassventil vollständig geschlossen ist, wird für den gesamten Teilprozess als Vereinfachung der Mittelwert für den Einlassquerschnitt verwendet, was eine Erleichterung bei der Modellierung des Gasbewegung darstellt. Weiters wird für jeden Teilprozess als Vereinfachung die Kolbengeschwindigkeit näherungsweise als konstant angenommen. Der aus dieser Annahme entstehende Fehler wird später rückwirkend kompensiert.

[0013] Die Teilprozesse können durch den vollständigen Öffnungszustand der Ein- und/oder Auslassventile, durch den Verbrennungsvorgang, durch die Bewegungsrichtung des Kolbens, durch den Kompressionsvorgang und/oder durch den Expansionsvorgang definiert werden. Die Grenzen der Teilprozesse können durch die Stellung der Ein- und/oder Auslassventile, sowie durch den Beginn und das Ende des Verbrennungsvorganges oder der Verbrennungsvorgänge festgelegt werden.

[0014] Die Berechnung der Lösung, welche zu jedem beliebigen Kurbelwinkel durchgeführt werden kann, erfolgt abschnittsweise beginnend mit einem an einem beliebigen Abschnittwechsel des Kreisprozesses definierten Anfangszustand, wobei der Betriebszustand am Ende eines Abschnittes in einem Rechenschritt berechnet wird. Genauso kann aber auch für jeden im Inneren des Abschnittes liegenden Kurbelwellenwinkel der Betriebszustand ermittelt werden. Somit ist auch ein zeitlicher Verlauf des Betriebszustandes erfassbar.

[0015] Da die durch Vergleichsprozesse beschriebenen Zusammenhänge bereits analytisch, insbesondere algebraisch, festgelegt sind, ist es möglich, dass der Betriebszustand jedes Teilprozesses in Echtzeit erfasst wird.

[0016] Dem Betriebszustand wird zumindest eine Größe aus der Gruppe Drehmoment, Massenstrom, Beladungszustand des Zylinders, Energie der Abgase und Wärmestrom der Zylinder zugeordnet.

[0017] In Abhängigkeit des jeweils zu erfassenden Betriebszustandes kann zumindest ein Motorbetriebsparameter aus der Gruppe Einlassdruck, Einlasstemperatur, Zusammensetzung des Gases im Saugrohr, Abgasdruck, Abgastemperatur, Zusammensetzung des Abgases im Abgaskrümmen, Parameter des Ventiltriebes, Parameter der Verbrennung sowie allgemeine Motorbetriebsparameter, wie Drehzahl und Wandtemperatur ermittelt werden. Dabei müs-

sen aber nicht alle Motorbetriebsparameter gemessen werden, da teilweise auch Ergebnisse aus Algorithmen verwendet werden können. Zur Verbesserung der Genauigkeit des Berechnungsverfahrens kann vorgesehen sein, dass zumindest ein Motorbetriebsparameter analytisch und messtechnisch bestimmt wird und dass berechnete Werte in an sich bekannter Weise abgeglichen werden, wobei vorzugsweise zumindest ein Motorparameter aus der Gruppe Massenstrom, Zylinderdruck, Luft-Kraftstoffverhältnis und Drehmoment analytisch und messtechnisch bestimmt wird.

[0018] Um den Rechenprozess zu vereinfachen ist vorteilhafter Weise vorgesehen, dass die effektiven Strömungsquerschnitte der Ventile durch rechteckförmige oder treppenförmige Kurven angenähert werden.

[0019] Durch die flexible Unterteilung des Kreisprozesses ist das Berechnungsverfahren nicht an die Art des Ventiltriebes (starr, teil-/vollvariabel; Anzahl der Ein- und Auslassventile) gebunden. Verschiedene Brennverfahren (Selbst- oder Fremdzündung; Anzahl der Teilverbrennungen) unterscheiden sich nur in der analytischen Lösung der die Verbrennung beschreibenden Abschnitte. Die Berechnung funktioniert unabhängig von der Konfiguration der Brennkraftmaschine und wird weder durch die Verwendung von Druckstufen (Verdichter, Turbinen, etc.) noch durch Vorrichtungen für interne oder externe Abgasrückführung beeinträchtigt.

[0020] Das Verfahren beinhaltet also eine Methodik, mit deren Hilfe es gelingt, Zustände zu berechnen, für die herkömmliche Verfahren eine numerische Integration benötigen, ohne diese Integration durchzuführen. Die bei Ladungswechsel bzw. Verbrennung ablaufenden Vorgänge werden im Allgemeinen durch zeitlich veränderbare Größen charakterisiert (z. B. Ventilhub, Brennverlauf, ...). Diese zeitlich verlaufenden Größen werden durch vereinfachte Verläufe (z. B. Rechteckkurven) angenähert, wodurch es gelingt, klar voneinander abgrenzbare Teilprozesse zu definieren. Die Intervallgrenzen sind flexibel, aber durch die Definition der Intervalle a priori bekannt. Die Teilprozesse sind nicht mehr vom zeitlichen Verlauf der Steuergrößen, das heißt vom Ladungswechsel und dem Brennverlauf, abhängig und können analytisch ausgewertet werden.

[0021] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

[0022] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

[0023] [Fig. 2](#) ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens,

[0024] Fig. 3 ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens und

$$dp_{cyl}/dt = p_{cyl}/V_{cyl}(-\kappa A_o c_m + (\kappa - 1)k_w A_{cyl} - \kappa R \sum T_i k_{T,i}) + \kappa R/V_{cyl} \sum p_i T_i k_{T,i} \quad (6)$$

[0025] Fig. 4 ein Ventilhubdiagramm.

dabei bedeuten

Beispiel: Füllungsmodell für variablen Ventiltrieb

H_{cyl}	Enthalpie des Zylinders,
Q_{wall}^*	Wandwärmestrom,
V_{cyl}	Zylindervolumen,
H_i^*	Enthalpiestrom über i-tes Ventil,
κ	Isentropenexponent,
R	Gaskonstante und
T_i	Temperatur des über i-tes Ventil einströmenden Gases,
A_o	Kolbenfläche,
c_m	mittlere Kolbengeschwindigkeit,
p_{cyl}	Zylinderdruck,
k_w	Wärmedurchgangskoeffizient,
$k_{T,i}$	Linearitätsfaktor,
m_i^*	Massenstrom über i-tes Ventil

[0026] Es werden folgende Annahmen und Vereinfachungen getroffen:

- Betrachtung des Einlasstaktes; Gaszustand am Auslass ist Anfangsbedingung (alternativ auch mit Auslasstakt)
- Berechnung des Beladungszustandes (Gesamtmasse, Temperatur, Zusammensetzung, Druck) in Abhängigkeit der Ventilsteuerzeiten und des aktuellen Motorbetriebspunktes (Drehzahl, Wandtemperatur) für beliebige Kurbelwinkel (d. h. auch dessen Verlauf).
- Effektive Ventilquerschnitte werden durch recheckförmige/treppenförmige Kurven approximiert
- Abschnitte mit unterschiedlichen Auf/Zu Konfigurationen der Ein-/Auslassventile werden getrennt behandelt.
- Jeder Abschnitt kann in einem Rechenschritt aus Betriebsparametern und dem Endzustand des vorangegangenen Abschnittes berechnet werden.
- Mittelwertmodell innerhalb des Abschnitte (keine Integration innerhalb eines Abschnittes)

[0030] Die Lösung der einfachen Differentialgleichung ist:

$$p_{cyl} = [p_{cyl,0} - p_\infty](V_{cyl}/V_{cyl,0})^{\kappa} + p_\infty \quad (7)$$

mit:

$$p_\infty = -(\kappa R)/(k^- A_o c_m) \sum p_i T_i k_{T,i} \quad (8)$$

$$k^- = -\kappa + (\kappa - 1)(k_w A_{cyl})/(c_m A_o) - (\kappa R)/(c_m A_o) \sum T_i k_{T,i} \quad (9)$$

[0027] Das Verfahren beruht auf Differentialgleichungen für die zeitliche Änderung der Enthalpie eines Zylinders:

$$dH_{cyl}/dt = Q_{wall}^* + V_{cyl} dp_{cyl}/dt + \sum H_i^* \quad (1)$$

bzw. nach Umformung erhält man:

$$dp_{cyl}/dt = 1/V_{cyl}(-\kappa p_{cyl} dV_{cyl}/dt + (\kappa - 1)Q_{wall}^* + \kappa R \sum T_i m_i^*) \quad (2)$$

Ableitung für vereinfachten Fall:

[0031] Die Lösung für den Zylinderdruck besteht aus zwei Teilen:

- Konstanter Druck (Unterdruck zur Aufrechterhaltung des Massenstroms)
- 'Polytrope' für die Abweichung der Anfangsbedingung

[0032] Für die Lösung der gesamten Luftmasse m_{cyl} durch den Zylinder (2) folgt mittels Integration aus Gleichung (4)

$$m_{cyl} = \int \sum m_i^* dt = \int \sum F k_{T,i} (p_i - p_{cyl}) dt \quad (10)$$

[0028] Zunächst werden folgende Vereinfachungen eingeführt:

- Konstante Kolbengeschwindigkeit:

$$dV_{cyl}/dt = A_o c_m \quad (3)$$

- Linearer Ansatz für die Massenströme:

$$m_i^* = k_{T,i}(p_i - p_{cyl}) \quad (4)$$

- Linearer Ansatz für Wärmestrom:

$$Q_{wall}^* = k_w A_{cyl} p_{cyl} \quad (5)$$

[0033] Für die Ableitung wurden Vereinfachungen verwendet, die von den realen Systemeigenschaften abweichen und somit rückwirkend korrigiert werden müssen:

- Konstante Kolbengeschwindigkeit
- Lineare Drosselgleichung

[0034] Die Angriffspunkte für die Korrekturen können anhand von Vergleichen der Approximationslösung mit den numerischen Lösungen der entsprechenden einfachen Differentialgleichungen definiert werden.

[0029] Einsetzen liefert:

i) Reale Kolbengeschwindigkeit (für linearisierte Drosselgleichung)

[0035] Wird in der oben angeführten Lösung Gleichung (7) an Stelle der mittleren Kolbengeschwindigkeit c_m die reale Kolbengeschwindigkeit eingesetzt, kann die numerische Lösung für niedrige Drehzahlen relativ genau approximiert werden. Im Allgemeinen ergibt sich allerdings die Notwendigkeit einer drehzahlabhängigen Korrektur, die die aus der zeitlichen Änderung der Kolbengeschwindigkeit resultierenden Verzögerungen nachbildet.

ii) Drosselgleichung (für konstante Kolbengeschwindigkeit)

[0036] Je nach Linearisierungsvorschrift $k_{T,i}$ für die Drosselgleichung (4) ergeben sich unterschiedliche Druckdifferenzen, die für das Aufrechterhalten des Massenstromes notwendig sind. Die bei gleichem Volumen unterschiedlichen Drücke resultieren in Abweichungen der Luftmasse. Eine Korrektur kann mit Hilfe einer Umrechnungsvorschrift für die für den linearisierten Fall berechnete Druckdifferenz vorgenommen werden.

[0037] [Fig. 4](#) zeigt als Beispiel, wie der effektive Ventilquerschnitt durch einen mittleren Ventilquerschnitt angenähert wird. Dazu wird der effektive Ventilhub H durch eine rechteckförmige, flächengleiche Hubkurve H_m approximiert. Als Beginn bzw. Ende des Teilprozesses kann beispielsweise ein Zeitpunkt t_1 bzw. t_2 definiert werden, an dem der Ventilhub H des Gaswechselventils 10% des Gesamthubes beträgt.

[0038] Die in [Fig. 1](#) schematisch dargestellte Brennkraftmaschine **1** zur Durchführung des Verfahrens weist zumindest einen in einem Zylinder **2** hin- und hergehenden Kolben **3** auf, welcher einen Brennraum **4** begrenzt, in welchen zumindest ein Einlasskanal **5** und zumindest ein Auslasskanal **6** einmündet. Der Einlasskanal **5** wird über ein Einlassventil **7**, der Auslasskanal **6** über ein Auslassventil **8** gesteuert. Direkt in den Brennraum **4** mündet eine Einspritzeinrichtung **9** zur Kraftstoffeinspritzung. Alternativ oder zusätzlich zur Einspritzeinrichtung **9** kann auch eine Zündvorrichtung in den Brennraum **4** münden. Mit Bezugszeichen **10** ist der Verdichterteil, mit Bezugszeichen **11** der Turbinenteil eines Abgasturboladers bezeichnet. In der Saugrohr **12** ist eine Drosselvorrichtung **13** angeordnet. Stromabwärts der Turbine **11** ist im Abgasstrang **14** eine Abgasreinigungsanlage **15** vorgesehen. Stromaufwärts der Turbine **11** zweigt vom Abgasstrang **14** eine Abgasrückföhrleitung **16** einer Abgasrückföhrleinrichtung **17** ab und mündet stromabwärts des Verdichters **10** und der Drosselvorrichtung **13** in das Saugrohr **12** ein. Mit Bezugszeichen **18** ist ein Abgasrückföhrventil bezeichnet.

[0039] Eine Abänderung der Anordnung der optio-

naln Komponenten Abgasrückföhrleinrichtung **17**, Verdichter **10**, Drosselvorrichtung **13**, Turbine **11** und Abgasreinigungsanlage **15** hat keinen Einfluss auf das Berechnungsverfahren.

[0040] Im Saugrohr **12** werden Druck p_L , Temperatur T_L und/oder die Zusammensetzung des angesaugten Gases gemessen. Im Abgaskrümmer des Abgasstranges **14** werden Druck p_A , Temperatur T_A und/oder Zusammensetzung des Abgases gemessen. Weiters werden die Parameter des Ventiltriebes der Einlassventile **7** und der Auslassventile **8** ermittelt, und zwar Ansteuerzeiten, effektiver Strömungsquerschnitt der Einlassventile **7** und der Auslassventile (als Funktion der Ventilhubkurve). Auch die Parameter der Verbrennung, nämlich Ansteuerzeiten (Einspritzzeitpunkt, Zündzeitpunkt) und die Kraftstoffmengen werden bestimmt. Des weiteren werden allgemeine Motorbetriebsparameter, wie Motordrehzahl n und Zylinderwandtemperatur T_w ermittelt. Einige dieser Betriebsgrößen können algorithmisch bestimmt werden, so dass nicht alle Betriebsgrößen wirklich gemessen werden müssen. Eine Messung des Zylinderdruckes p_{cyl} ist nicht erforderlich. Der Betriebszustand der Brennkraftmaschine **1** wird durch folgende Betriebsparameter beschrieben: Drehmoment, Massenstrom, Beladungszustand der Zylinder (Luftmasse, Druck, Temperatur und Gaszusammensetzung), Energieinhalt des Abgases und Wandwärmestrom.

[0041] Gemäß dem vorliegenden Verfahren wird zur Berechnung des Kreisprozesses der Brennkraftmaschine **1** dieser in durch vereinfachte Zusammenhänge beschriebene Teilprozesse **21** bis **28**, **31** bis **38** unterteilt und jeder Zustand innerhalb eines Teilprozesse **21** bis **28**, **31** bis **38** analytisch aus Anfangszustand und Betriebsparametern des jeweiligen Teilprozesse **21** bis **28**, **31** bis **38** berechnet. Die numerische Integration des gesamten Kreisprozesses wird somit durch eine Kombination von abschnittsweise vorabgelösten Integralen ersetzt.

[0042] Die Berechnungsmodelle gehen dabei von unterschiedlichen Annahmen aus und/oder weisen unterschiedliche Vereinfachungen auf. Die zeitlichen Grenzen der Teilprozesse **21** bis **28**, **31** bis **38** werden in Abhängigkeit von zumindest einem gemessenen Motorparameter berechnet. Eine sinnvolle Definition der Teilprozesse **21** bis **28**, **31** bis **38** erfolgt zweckmäßiger Weise anhand der Stellung der Ein-/Auslassventile **7**, **8** bzw. der Abfolge der Teilverbrennungen. Es ergeben sich somit folgende Möglichkeiten: Einlassventil **7** und/oder Auslassventil **8** geöffnet bzw. mehrere Ein-/Auslassventile **7**, **8** gleichzeitig geöffnet; eine Verbrennung bzw. Überlagern von mehreren Verbrennungen; Kompression/Expansion des im Zylinder eingeschlossenen Gases.

[0043] **Fig. 2** zeigt schematisch ein erstes Ausführungsbeispiel für einen in mehrere Teilprozesse **21** bis **28** unterteilten Kreisprozess **20** einer Vier-Takt-Brennkraftmaschine mit interner Abgasrückführung und einer einzigen Verbrennung. Die Teilprozesse **21** bis **28** sind durch den Vorgang der Verbrennung B, der Expansion E, der Öffnung O des Auslassventiles **8**, der Überlappung OI von Einlassventil **7** und Auslassventil **8**, durch das Öffnen I des Einlassventiles **7** und durch die Kompression C des Gases im Brennraum **4** charakterisiert. Der in **Fig. 2** dargestellte Kreisprozess **20** weist eine Restgasrückführung durch eine nochmaliges Öffnen des Auslassventiles **8** zwischen Einlassphase I und Kompressionsphase C auf.

[0044] **Fig. 3** zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel für einen in mehrere Teilprozesse **31** bis **38** unterteilten Kreisprozess **30** einer Vier-Takt-Brennkraftmaschine mit starrem Ventiltrieb. Der Kreisprozess **30** weist in diesem Fall zwei Teilverbrennungen B_1 und B_2 auf, wobei zwischen den beiden Teilverbrennungen B_1 und B_2 der Teilprozess **32** als Überlappungsphase $B_{1,2}$ zwischen der ersten Verbrennung B_1 und der zweiten Verbrennung B_2 definiert ist.

[0045] Das erfindungsgemäße Verfahren kann als physikalisches Füllungsmodell bei verschiedenen Konfigurationen bzw. Verbrennungstechnologien, beispielsweise sowohl bei einem Standardventiltrieb, als auch bei einem teil- oder vollvariablen Ventiltrieb, und bei verschiedenen Verbrennungsmodellen angewendet werden. Weiters können auch Modelle zur Erfassung des Gaszustandes im Saugrohr **12** und zur Erfassung des Gaszustandes im Abgasstrang **14** eingesetzt werden. Die genannten Modelle können einzeln oder aber auch in Kombination miteinander verwendet werden.

[0046] Im Rahmen des Verfahrens ist auch eine Regelung des Gaszustandes durch gezielte Variation der Ventilsteuerzeiten möglich.

[0047] Weiters kann durch gezielte Variation des Restgasanteiles und/oder der Verbrennungsparameter die Verbrennung und die Abgaszusammensetzung hinsichtlich CO_2 , NO_x , Partikel etc geregelt werden.

[0048] Die Genauigkeit des Berechnungsverfahrens kann wesentlich verbessert werden, wenn berechnete Parameter mit gemessenen Parametern abgeglichen werden. Auf dieser Weise ist es sinnvoll, die berechneten Werte für Massenstrom m_{cyl} , Zylinderdruck p_{cyl} , Luft-/Kraftstoff-Verhältnis und Drehmoment mit den gemessenen Werten zu vergleichen und abzustimmen.

[0049] Durch das beschriebene Verfahren kann auf einfache Weise der Betriebszustand für jeden belie-

bigen Kurbelwinkel unabhängig von der Konfiguration der Brennkraftmaschine **1** in Echtzeit ermittelt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung bzw. Steuerung einer in einem Kreisprozess (**20**; **30**) arbeitenden Brennkraftmaschine (**1**) mit innerer Verbrennung unter Verwendung von Berechnungsmodellen, bei dem der Kreisprozess (**20**; **30**) oder Abschnitte des Kreisprozesses (**20**; **30**) der Brennkraftmaschine (**1**) in einzelne Teilprozesse (**21** bis **28**; **31** bis **38**) unterteilt wird bzw. werden, und der Betriebszustand innerhalb jedes Teilprozesses (**21** bis **28**; **31** bis **38**) anhand von Messwerten, gespeicherten und/oder applizierten Daten bestimmt wird, um Steuergrößen für den Betrieb der Brennkraftmaschine zu ermitteln, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zeitlichen Grenzen der Teilprozesse (**21** bis **28**; **31** bis **38**) zumindest teilweise in Abhängigkeit von zumindest einem variablen Motorbetriebsparameter berechnet werden, dass die Berechnungsmodelle für die zeitlich hintereinander abfolgenden einzelnen Teilprozesse (**21** bis **28**; **31** bis **38**) von zumindest teilweise unterschiedlichen Annahmen ausgehen und/oder unterschiedliche Vereinfachungen aufweisen, wobei die Berechnungsmodelle für die einzelnen Teilprozesse (**21** bis **28**; **31** bis **38**) von einem Anfangszustand ausgehen und während der Dauer des Teilprozesses Berechnungsgrößen in Echtzeit algebraisch in einem Schritt berechnen, und dass der Betriebszustand am Ende eines Teilprozesses (**21** bis **28**; **31** bis **38**) als Anfangsbedingung für die Berechnungen des nächsten Teilprozesses (**21** bis **28**; **31** bis **38**) herangezogen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine Grenze von zumindest einem Teilprozess (**22** bis **28**; **34** bis **38**) durch die Stellung der Ein- und/oder Auslassventile (**7**, **8**) definiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teilprozess (**21**; **31**, **32** **33**) durch den vorzugsweise vollständigen Öffnungszustand der Ein- und Auslassventile (**7**, **8**) definiert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine Grenze von zumindest einem Teilprozess (**28**, **21**; **38**, **31**, **32**, **33**) durch den Beginn des Verbrennungsvorganges (B; B_1 , B_2) oder durch den Zündvorgang des Kraftstoffes definiert wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine Grenze von zumindest einem Teilprozess (**28**, **21**; **38**, **31**, **32**, **33**) durch das Ende des Verbrennungsvorganges (B; B_1 , B_2) definiert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teilprozess (**21**; **31**, **32** **33**) durch zumindest einen Verbrennungsvorgang (B ; B_1 , B_{12} , B_2) definiert wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teilprozess durch die Bewegungsrichtung des Kolbens (**3**) definiert wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Grenze von zumindest einem Teilprozess durch den oberen oder unteren Totpunkt des Kolbens (**3**) definiert wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teilprozess (**28**; **38**) durch den Kompressionsvorgang (C) des im Zylinder (**2**) eingeschlossenen Gases definiert wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teilprozess (**22**; **34**) durch den Expansionsvorgang (E) des im Zylinder (**2**) eingeschlossenen Gases definiert wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Betriebszustand durch zumindest eine Größe aus der Gruppe Drehmoment, Massenstrom (m_{cyl}), Beladungszustand der Zylinder (**2**), Energieinhalt des Abgases und Wandwärmestrom (Q_{wall}^*) zumindest eines Zylinders (**2**) definiert wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass als Motorbetriebsparameter zumindest eine Betriebsgröße aus der Gruppe Einlassdruck (p_L), Einlasstemperatur (T_L) und Zusammensetzung des Gases im Saugrohr (**12**) erfasst wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass als Motorbetriebsparameter zumindest eine Betriebsgröße aus der Gruppe Abgasdruck (p_A), Abgastemperatur (T_A) und Zusammensetzung des Abgases im Abgaskrümmer erfasst wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass als Motorbetriebsparameter zumindest ein Parameter des Ventiltriebes, und zwar die Steuerzeit bzw. die Steuerzeiten der Einlass- und/oder Auslassventile (**7**, **8**) und/oder der effektive Strömungsquerschnitt der Einlass- und/oder Auslassventile (**7**, **8**), erfasst wird bzw. werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass als Motorbetriebsparameter

zumindest ein Parameter der Verbrennung, und zwar die Einspritzsteuerzeit bzw. die Einspritzsteuerzeiten und/oder der Zündzeitpunkt und/oder die eingespritzte Kraftstoffmenge, erfasst wird bzw. werden.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass als Motorbetriebsparameter die Drehzahl (n) und/oder die Zylinderwandtemperatur (T_w) ermittelt wird bzw. werden.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Motorbetriebsparameter analytisch bestimmt wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Motorbetriebsparameter messtechnisch bestimmt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Motorbetriebsparameter analytisch und messtechnisch bestimmt wird, und dass berechnete und gemessene Werte abgeglichen werden.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Motorbetriebsparameter aus der Gruppe Massenstrom (m_{cyl}), Zylinderdruck (p_{cyl}), Luft-Kraftstoffverhältnis und Drehmoment analytisch und messtechnisch bestimmt wird.

21. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die effektiven Strömungsquerschnitte der Ein- und/oder Auslassventile (**7**, **8**) durch rechteckförmige oder treppenförmige Kurven angenähert werden.

22. Verfahren nach Anspruch 14 oder 21, dadurch gekennzeichnet, dass die effektiven Strömungsquerschnitte der Ein- und/oder Auslassventile (**7**, **8**) durch einen mittleren Strömungsquerschnitt angenähert werden.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass für die Herleitung der Gleichungen (**7**, **10**) für die Berechnungsgrößen die Kolbengeschwindigkeit in zumindest einem Teilprozess durch eine mittlere Kolbengeschwindigkeit angenähert wird.

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass der durch die Annahme der mittleren Kolbengeschwindigkeit entstehende Fehler bei der Lösung der Gleichungen (**7**, **10**) der Berechnungsgrößen kompensiert wird.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

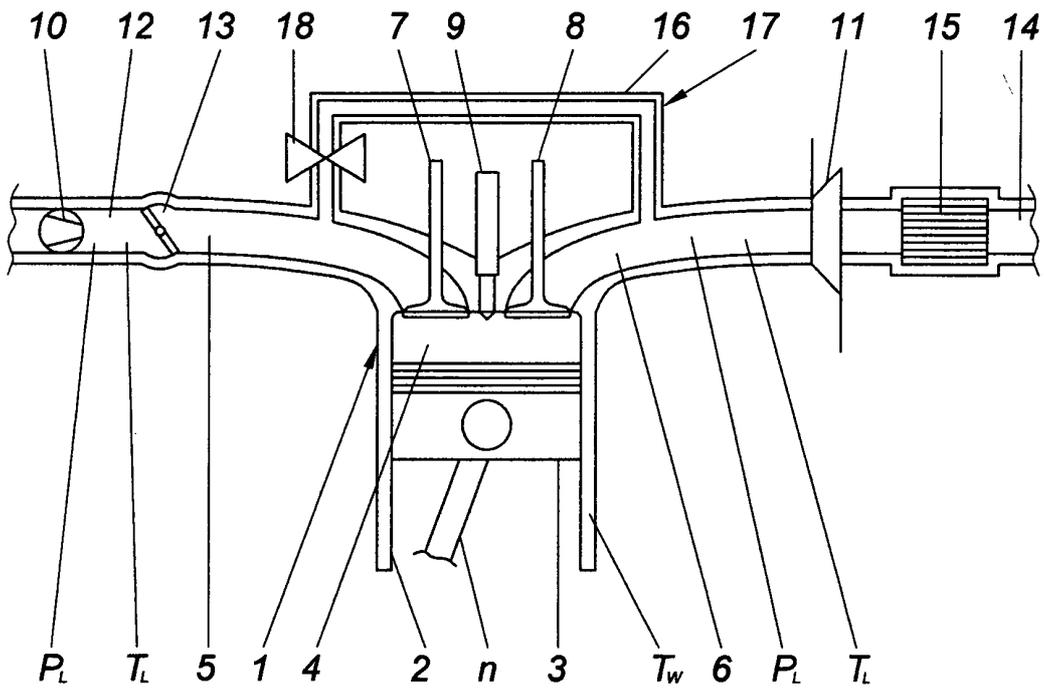


Fig. 1

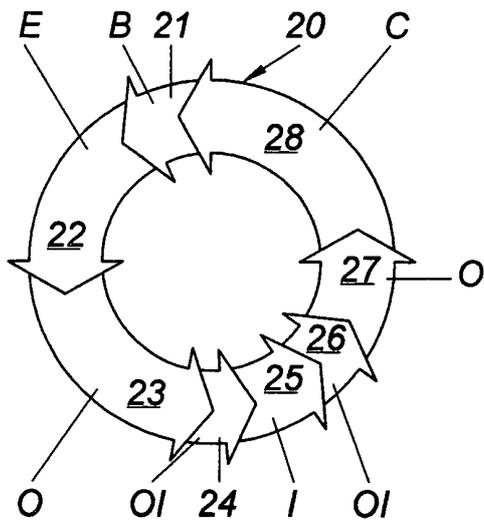


Fig. 2

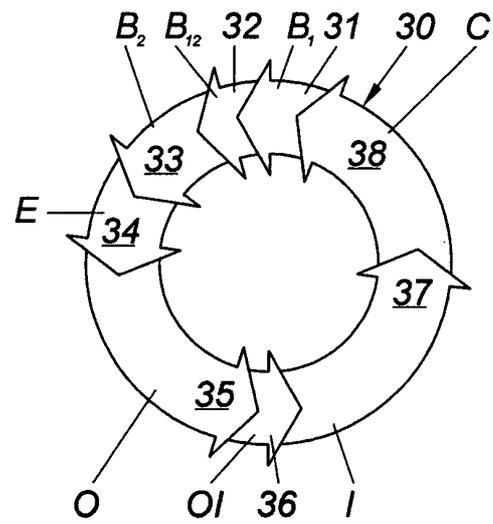


Fig. 3

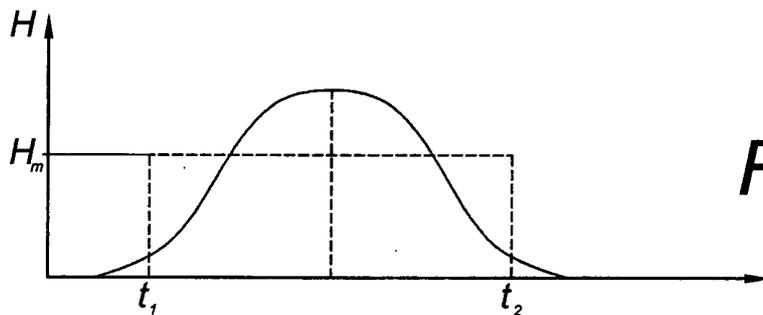


Fig. 4