

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
16. August 2007 (16.08.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2007/090216 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:

*F02D 41/00* (2006.01)      *F02D 41/18* (2006.01)  
*F02D 21/08* (2006.01)      *F02D 41/24* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2007/000050

(22) Internationales Anmeldedatum:

1. Februar 2007 (01.02.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

A 201/2006      9. Februar 2006 (09.02.2006)      AT  
A 1613/2006      28. September 2006 (28.09.2006)      AT

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **AVL LIST GMBH** [AT/AT]; Hans-List-Platz 1, A-8020 Graz (AT).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **RODNER, Christian** [CH/AT]; Naglergasse 50/1/6, A-8010 Graz (AT).  
**BACHINGER, Markus** [AT/AT]; Mariatroster Strasse

131, A-8043 Graz (AT). **STOLZ, Michael** [AT/AT]; Baiernstrasse 12, A-8020 Graz (AT). **DANNINGER, Alois** [AT/AT]; Peter-Tunner-Gasse 2, A-8605 Kapfenberg (AT). **NEUNTEUFL, Klemens** [AT/AT]; Hofstättenweg 4, A-8052 Graz (AT).

(74) Anwalt: **BABELUK, Michael**; Mariahilfer Gürtel 39/17, A-1150 Wien (AT).

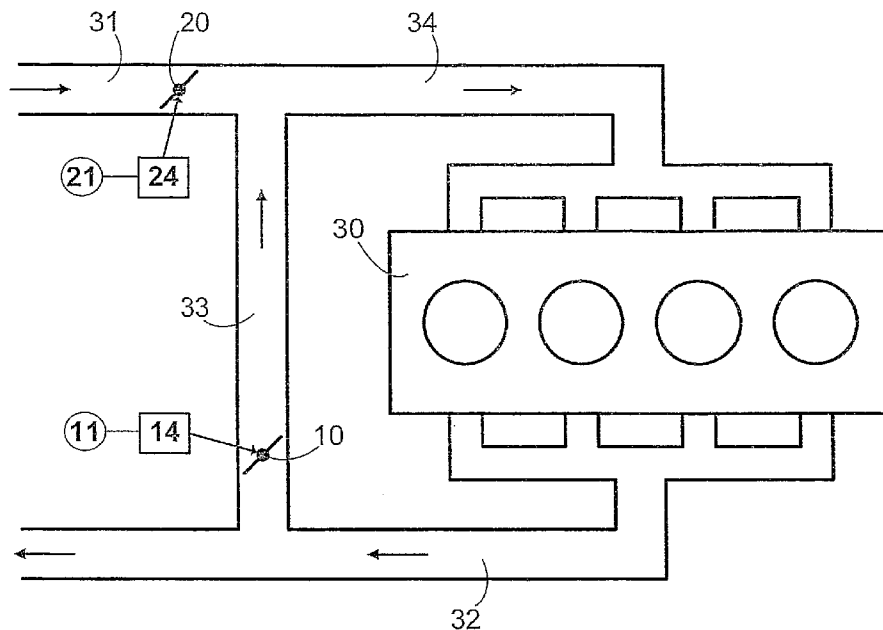
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING THE AIR SYSTEM IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR REGELUNG DES LUFTSYSTEMS BEI EINER BRENNKRAFTMASCHINE



(57) Abstract: The invention relates to a method for controlling the air system in an internal combustion engine, in particular a diesel internal combustion engine, with a first actuating element for recirculated exhaust gas in the exhaust gas recirculation branch, and with a second actuating element for air in the inlet branch, wherein the two actuating elements are adjusted as a function of each other. In order to increase the control performance, it is provided that each actuating element is controlled separately by a dedicated controller in each case, wherein each controller is optimally configured for the particular controlled system, and wherein a default value is provided for each controller.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/090216 A2



GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung des Luftsystems bei einer Brennkraftmaschine, insbesondere einer Diesel-Brennkraftmaschine mit einem ersten Stellglied für rückgeführtes Abgas im Abgasrückführstrang und einem zweiten Stellglied für Luft im Einlassstrang, wobei die beiden Stellglieder in Abhängigkeit voneinander verstellt werden. Um die Regelgüte zu erhöhen, ist vorgesehen, dass jedes Stellglied separat durch jeweils einen eigenen Regler geregelt wird, wobei jeder Regler für die jeweilige Regelstrecke optimal angelegt ist, und wobei jedem Regler ein Vorgabewert zur Verfügung gestellt wird.

## **Verfahren zur Regelung des Luftsystems bei einer Brennkraftmaschine**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung des Luftsystems bei einer Brennkraftmaschine, insbesondere einer Diesel-Brennkraftmaschine mit einem ersten Stellglied für rückgeführtes Abgas im Abgasrückführstrang und einem zweiten Stellglied für Luft im Einlassstrang, wobei die beiden Stellglieder in Abhängigkeit voneinander verstellt werden, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Weiters betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Regeln der Kennwerte der Verbrennung bei einer Brennkraftmaschine mit zumindest einem Regelpfad.

Die US 6,105,559 A offenbart ein Einlass- und Abgasrückführsystem für eine Brennkraftmaschine, wobei die Steller Abgasrückführventil und Drosselklappe in Abhängigkeit voneinander durch ein einzelnes Stellglied (Aktuator) betätigt werden. Die beiden Steller sind durch eine mechanische Kopplung miteinander verbunden. Es ist nur ein Stellglied und ein Regler vorgesehen.

Aus der US 6,732,723 B1 ist eine Diesel-Brennkraftmaschine mit einem Einlasssystem und einem Abgasrückführsystem bekannt, wobei ein Steller im Einlassstrang und ein Steller im Abgasrückführstrang angeordnet ist. Die beiden Steller sind am Ausgang eines einzelnen Reglers angeschlossen. Eine starre Logik teilt das Stellsignal am Reglerausgang auf die beiden Stellglieder auf.

Das Verhalten des beim Stand der Technik verwendeten Reglers für beide Stellglieder stellt einen Kompromiss dar, wodurch der Regler für keine der beiden Regelstrecken optimal ausgelegt werden kann.

Ein weiterer Nachteil ist, dass durch die gegebenen Strukturen starke Einschränkungen bei der Wahl der Stellgliederbegrenzungen vorliegen. Damit ergibt sich die Problematik, dass die Regel-Bandbreite klein ist und eine andere Stelleraufteilung für andere Betriebsmodi nur eingeschränkt möglich ist.

Es ist bekannt, die Verbrennung stationär, d.h. in einem Betriebspunkt mit einer bestimmten Zylinderfüllung, über zumindest einen Einspritzparameter so zu regeln, dass die Kennwerte für die tatsächliche Verbrennung und die Wunschverbrennung übereinstimmen. Abweichungen in der Füllung werden mit einem Regler im Luftregelpfad ausgeglichen, bis die Ist- und die Sollfüllung übereinstimmen. Die Sollwerte für die Verbrennung im stationären Betrieb werden im Zuge des Kalibrierprozesses bedatet. Dabei wird in einem Betriebspunkt der Sollwert für eine Führungsgröße vorgegeben. Dieser wird in Verbindung mit allen

anderen Betriebszuständen bei diesem Betriebspunkt (insbesondere der Füllung) betrachtet. Der stationäre Sollwert für die Füllung wird parallel mit dem Sollwert für die Verbrennung in einem Speicher abgelegt. Dabei werden die Aktuatoren, die die Füllung bestimmen, so eingestellt, dass die Istfüllung gleich der Sollfüllung wird. Basierend auf dem Sollwert für die Verbrennungslage und der Rückmeldung über die tatsächliche Verbrennung werden die Einstellparameter für die Verbrennung so verändert, dass sich die tatsächliche Verbrennung der Sollverbrennung angleicht. Bei den Verstellgrößen handelt es sich typischerweise um Einspritzparameter, wie Einspritzzeitpunkt, Einspritzdruck, Einspritzmenge oder dergleichen. Diese können (abhängig vom Einspritzsystem) zumindest innerhalb eines Verbrennungszyklus verstellt werden. Beim Übergang von einem Betriebspunkt zu einem anderen ist es der Verbrennungsregelung möglich, den neuen Wert für die Verstellgrößen in sehr kurzer Zeit einzustellen. Die Zylinderfüllung hat bezogen auf den Kraftstoff-Regelpfad allerdings eine sehr unterschiedliche Zeitkonstante, was dazu führt, dass transient die Verstellwerte für die Verbrennung im Kraftstoff-Regelpfad nicht zu der aktuellen Füllung passen. Dies führt entweder zu erhöhten Emissionen bei erhöhtem Verbrennungsgeräusch oder zu geringem Motordrehmoment bei gleichzeitig erhöhtem Kraftstoffverbrauch. Diese Wechselwirkungen konnten bisher nur mit sehr hohem Aufwand reduziert werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, diese Nachteile zu vermeiden und die Regelgüte bei der Regelung des Luftsystems zu erhöhen. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, Emissionen, sowie Verbrennungsgeräusche zu verringern und gleichzeitig den Drehmomentverlauf zu verbessern.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass jedes Stellglied separat durch jeweils einen eigenen Regler geregelt wird, wobei jeder Regler für die jeweilige Regelstrecke optimal ausgelegt ist, und wobei jedem Regler ein Sollwert zur Verfügung gestellt wird. Dabei ist vorgesehen, dass zu jedem Zeitpunkt nur jeweils einer der beiden Regler aktiviert und der jeweils andere Regler deaktiviert wird, wobei das Stellglied, dessen Regler deaktiviert ist, mittels eines Vorgabewertes gesteuert wird.

Wesentlich ist, dass jedes Stellglied einen eigenständigen Regler aufweist. Jeder Regler kann somit optimal für seine Strecke ausgelegt werden, wodurch eine höhere Bandbreite und ein besseres Ausregelverhalten erreicht werden kann. Eine Programmlogik schaltet dabei zwischen den beiden Reglern um, wobei zu jedem Zeitpunkt nur einer der beiden Regler aktiv ist und das Stellglied, dessen Regler deaktiviert ist, mittels eines Vorgabewertes gesteuert wird.

Die Stellbereiche der beiden Stellglieder grenzen direkt aneinander. Das heißt, wenn der Stellbereich des ersten Stellgliedes (Aktuator für Abgasrückführventil) für die Regelung des Luftmassenstromes zu Ende ist, übernimmt direkt anschließend daran das zweite Stellglied (Aktuator für die Einlassdrosselklappe) die weitere Stellfunktion. Das Ende des Stellbereiches eines Stellgliedes muss nicht notwendiger Weise durch eine physikalische Begrenzung gebildet sein. Sowohl Umschaltsschwellen für den aktiven Regler, als auch Vorgabewerte für das Stellglied des deaktivierten Reglers können variabel sein.

Wichtig für die Umschaltung zwischen den beiden Reglern ist die richtige Reglerinitialisierung, damit das Regelsystem (von beiden Stellern aus gesehen) keine Unstetigkeiten erfährt (Bumpless Switching). Daher ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die tatsächlich den beiden Stellgliedern zur Verfügung gestellten Vorgabewerte den jeweiligen Reglern mitgeteilt werden. Diese initialisieren den Zustand des Reglers entsprechend dem tatsächlichen Vorgabewert (Anti-Wind-Up). Dies ist besonders vorteilhaft, da durch die Initialisierung mit dem tatsächlichen Vorgabewert dieser bei Reaktivierung des zuvor deaktivierten Reglers als Anfangsbedingung für die Regelung dieses Stellgliedes verwendet wird und daher ein nahtloses Umschalten zwischen den beiden Reglern erst ermöglicht wird.

Vorteile gegenüber dem Stand der Technik ergeben sich durch die beschriebene Struktur im Hinblick auf die Regelgüte durch zwei optimal auf die jeweilige Regelstrecke ausgelegte Regler, sowie im Bezug auf die Flexibilität durch variable Grenzen für die beiden Stellglieder, sowie variable Vorgabewerte für das Stellglied, dessen Regler deaktiviert ist.

Sowohl Regelgüte, als auch Flexibilität in der Aufteilung des Stellbereiches sind wichtige Kriterien für die Optimierung der Schadstoff-Emissionen im transienten Motorbetrieb.

Die beiden Steller sind im Bezug auf ihren Einfluss auf den Luftmassenstrom redundant ausgebildet, müssen aber nicht unbedingt identisch sein. Ziel ist die Steuerung/Regelung von zwei Stellgliedern für den Spezialfall, dass sie eigentlich redundant sind, wenn sie nicht im Stellbereich, bzw. durch äußere Einflüsse begrenzt wären. Aus diesem Grund bringt es keinen Vorteil, beide Stellglieder gleichzeitig zu regeln. Nur die Feedback-Regelung eines Stellgliedes ist zu jedem Zeitpunkt aktiv. Der aktive Regler übergibt die Regelung an den gerade deaktivierten, wenn er an die Grenze seines Stellbereiches stößt. Durch diese Umschaltung ergibt sich eine Abhängigkeit zwischen den beiden Reglern.

Aus den unterschiedlichen physikalischen Randbedingungen ergibt sich, dass das Übertragungsverhalten von jedem Steller zur Regelgröße (z.B. Luftmassenstrom) unterschiedlich ist. Es existieren also zwei unterschiedliche Regelstrecken.

Daher ist es vorteilhaft, wenn zwei verschiedene Regler (vorerst unabhängig voneinander) jeweils für ihre Regelstrecke optimal ausgelegt werden.

Zur Verringerung der Emissionen und des Verbrennungsgeräusches ist vorgesehen, dass ein schneller Regelpfad, der bei jeder Einspritzung agieren und messen kann, einen langsamen Regelpfad, der in einem Zeitraster eine wesentlich größere Zeit als der schnelle Regelpfad benötigt, im Stellverhalten berücksichtigt, und dass aus der Größe der Abweichung zwischen den Istwerten und den Sollwerten des langsam Regelpfades direkt die Auswirkungen auf Kennwerte der Verbrennung und/oder Änderungen zumindest eines Kennwertes des schnellen Regelpfades berechnet werden. Dies ermöglicht es, die tatsächliche Verbrennung in eine Wunschverbrennung überzuführen.

Dabei berücksichtigt ein schneller Regelpfad, der bei jeder Einspritzung agieren und messen kann, einen langsamen Regelpfad, der in einem Zeitraster eine wesentlich größere Zeit benötigt.

Der schnelle Regelpfad ist in der Lage, Istwerte bei jeder Verbrennung zu erfassen, mit den Sollwerten zu vergleichen und entsprechend die Stellwerte zu verändern. Der langsame Regelpfad ist in der Lage, in einem Zeitraster seine Messwerte zu erfassen, mit den Sollwerten zu vergleichen und entsprechend die Stellwerte zu verändern. Das Zeitraster des langsamen Regelpfades ist wesentlich langsamer als die verbrennungszyklusaufgelösten Zeitschritte.

Der schnelle Regelpfad kann beispielsweise ein Einspritzpfad sein, in welchem verbrennungszyklusaufgelöst Einspritzparameter berechnet werden.

Vorzugsweise stellt der Istwert des langsameren Regelpfades einen Kennwert der Zylinderfüllung dar und kann durch die auf Basis eines sensorgestützten physikalischen Modells Inertgasrate im Zylinder vor der Verbrennung gebildet sein.

Aus der Größe der Abweichung zwischen dem Istwert und dem Sollwert der Zylinderfüllung können dabei direkt die Auswirkungen auf die Verbrennungslage und/oder Änderungen zumindest eines Einspritzparameters berechnet werden. Mit dem Wissen des Einflusses der Füllung auf die Verbrennungslage kann somit eine Abweichung zwischen der Istfüllung und der Sollfüllung direkt für die Verbrennungsregelung angewendet werden. Damit lässt sich dynamisch der Einfluss einer Abweichung zwischen Istfüllung und Sollfüllung auf die Verbrennungslage kompensieren.

Der Sollwert für die Verbrennung kann wie bisher durch Bestimmen der Verbrennungslage erfolgen, bei der 50% des Kraftstoffes verbrannt sind (MFB 50). Weiters kann der Istwert der Verbrennungslage durch Verstellen des Einspritzzeitpunktes beeinflusst werden. Zusätzlich kann die Inertgasrate (Inertgasmasse im Verhältnis zur Gesamtmasse) im Zylinder vor jedem Verbrennungsereignis mit einem physikalischen Modell, basierend auf vorhandenen Sensorenwerten, ermittelt werden. In der Größe Inertgasrate sind sowohl der Ladedruck, als auch die Abgasrückführrate (EGR-Rate) und somit der Einfluss von Aufladesystem und EGR- bzw. Drosselklappensteller berücksichtigt. Da sich bei festen Einspritzparametern die Verbrennungslage (MFB 50) im Bereich des oberen Totpunktes linear mit der Kenngröße Inertgasrate verändert, kann aus einer Abweichung zwischen Ist- und Sollinertgasrate direkt die Auswirkung auf die Verbrennungslage errechnet werden.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann das dynamische Verhalten der Verbrennungsregelung verbessert und somit der Bedatungsaufwand in Bezug auf die Optimierung von transienten Emissionen, Geräusch, Fahrverhalten und Fahrkomfort bzw. Drehmomentverhalten wesentlich reduziert werden.

Mit Hilfe von Sensoren für Luftmasse, Temperaturen und Drücke ist es möglich, mit einfachen physikalischen Berechnungen jenen Parameter der Füllung zu ermitteln, der einen direkten Einfluss auf die Verbrennung hat. Durch die Identifikation einer solchen Kenngröße ist es möglich, die Abweichung der aktuellen Füllung von der Sollfüllung zu bewerten und damit vorherzusagen, welche Auswirkung diese Abweichung auf die Verbrennung haben wird.

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

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens,
- Fig. 2 ein das erfindungsgemäße Verfahren illustrierendes Blockdiagramm; und
- Fig. 3 ein weiteres Blockdiagramm zur Erläuterung der Erfindung.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine 30 mit einem Frischluftstrang 31, einem Einlassstrang 34, Auslassstrang 32 und einem Abgasrückführstrang 33, wobei im Abgasrückführstrang 33 ein ein Abgasrückführventil 10 betätigendes erstes Stellglied 14 und im Frischluftstrang 31 ein eine Drosselklappe 20 betätigendes zweites Stellglied 24 angeordnet ist. Jedem Stellglied 14, 24 ist ein eigener Regler 1, 2 zugeordnet. Weiters ist eine Logik 4 vor-

gesehen, welche entscheidet, welcher der beiden anderen Regler 1, 2 zu jedem Zeitpunkt aktiviert bzw. deaktiviert ist.

Ein Sollwert für den Luftmassenstrom  $MAF_{ref}$  wird bestimmt. Zur Berechnung der Regelabweichung in Regler 1 für das Abgasrückführventil 10 und Regler 2 für die Drosselklappe 20 werden als Eingangsgrößen der Sollwert für den Luftmassenstrom  $MAF_{ref}$  und der gemessene Istwert des Luftmassensystems  $MAF_{meas}$  verwendet.

Eine durch die Logik 4 implizierte strategische Funktion entscheidet, welcher der beiden Regler 1, 2 aktiviert ist und setzt den Sollwert für das Stellglied, dessen Regler-Ausgang deaktiviert ist, auf einen vordefinierten Wert, der in den Funktionen 13, 23 erzeugt wird, in dem sie die Schalter 12, 22 betätigt. Die Werte für die tatsächlichen Vorgabewerte 11, 21 der Stellglieder 14, 24 dienen als Eingangsgrößen 11', 21' für die entsprechenden Regler 1, 2. Diese Information ist für den deaktivierten Regler notwendig, um seinen internen Zustand entsprechend nachzuführen und damit ein nahtloses Umschalten zwischen beiden Reglern zu ermöglichen.

Die Logik 4 arbeitet folgendermaßen: Jedes Stellglied 14, 24 ist durch Hardware und zusätzlich durch Software begrenzt. Vorerst wird das erste Stellglied 14 (Stellglied für das Abgasrückführventil 10) verwendet, um den Luftmassenstrom  $MAF$  zu regeln. Wird allerdings das Maximum der Öffnung des ersten Stellgliedes 14 erreicht, übernimmt das zweite Stellglied 24 die weitere Regelung, wobei das erste Stellglied 14 über einen vordefinierten Wert 13 (beispielsweise die maximale Öffnungsstellung) gesteuert wird (wodurch der Regler 1 des ersten Stellgliedes 14 deaktiviert wird). Der Stellbereich der beiden Stellglieder 14, 24 grenzt direkt aneinander. Unter dem Maximum der Öffnung eines Stellgliedes ist eine variable Grenze zu verstehen, die flexibel bedatet werden kann und maximal dem größten mechanischen Öffnungswinkel des Stellers entspricht.

Die beiden Regler 1, 2 sind jeder für ihre Strecke optimal ausgelegt. Dadurch kann eine sehr hohe Regelgüte erreicht werden.

Die Logik 4 schaltet zwischen den beiden Regler 1, 2 um, wobei immer nur einer der beiden Regler 1, 2 aktiv ist und das Stellglied des anderen (deaktivierten) anhand eines Vorgabewertes geführt werden kann. Die Vorgabewerte für die Steuerung des Stellgliedes des gerade deaktivierten Reglers werden in den Funktionen 13, 23 erzeugt. Die Vorgabewerte sind im Allgemeinen variabel, können aber im Speziellen zum Beispiel mit der Begrenzung des jeweiligen Stellgliedes übereinstimmen. Mit 13 ist die Funktion bezeichnet, die den Vorgabewert

für das erste Stellglied 1 generiert, mit 23 die Funktion, die den Vorgabewert für das zweite Stellglied 2 generiert.

Der stationäre Sollwert  $V_S$  für die Verbrennung wird im Zuge des Kalibrierprozesses bedatet. Dabei wird in einem Betriebspunkt der Sollwert  $V_S$  für die Führungsgröße bedatet. Dieser ist in Verbindung mit allen anderen Betriebszuständen bei diesem Betriebspunkt (insbesondere der Füllung) zu sehen. Der stationäre Sollwert  $F_S$  für die Füllung wird parallel mit dem Sollwert  $V_S$  für die Verbrennung bedatet, dabei werden die Aktuatoren, die die Füllung bestimmen so eingestellt, dass sich der beste mögliche Zustand einstellt. Basierend auf dem Sollwert für die Verbrennung  $V_S$  und der Rückmeldung über die tatsächliche Verbrennung  $V_I$  auf Basis der Zylinderdrucksensoren werden die Einstellparameter für die Verbrennung so verändert, dass sich die tatsächliche Verbrennung  $V_I$  der Sollverbrennung  $V_S$  angleicht. Bei den Verstellgrößen handelt es sich typischerweise um Kraftstoffpfadgrößen, und zwar Einspritzparameter wie Einspritzzeitpunkt, Einspritzdruck, Einspritzmenge, oder dergleichen. Diese können (abhängig vom Einspritzsystem) zumindest in einem Verbrennungszyklus verstellt werden.

Beim Übergang von einem Betriebspunkt zu einem anderen ist es der Verbrennungsregelung 102 für die Brennkraftmaschine 101 möglich, den neuen Sollwert  $V_S$ ,  $F_S$  für die Verstellgrößen in sehr kurzer Zeit einzustellen. Die Zylinderfüllung hat allerdings sehr unterschiedliche Zeitkonstanten, was dazu führt, dass kurzfristig die Verstellwerte für die Verbrennung nicht zu der aktuellen Füllung passen. Dies führt zu erhöhten Emissionen, erhöhtem Verbrennungsgeräusch und Nachteilen im Fahrkomfort bzw. Drehmomentverhalten. Diese Einflüsse können bisher nur mit sehr hohem Aufwand reduziert werden. Mit dem bisherigen System war somit zwar möglich, stationär, d.h. in einem Betriebspunkt mit einer bestimmten Zylinderfüllung die Verbrennung so zu regeln, dass die tatsächliche Verbrennung und die Wunschverbrennung übereinstimmen. Abweichungen in der Füllung werden mit einem Regler im Kraftstoffpfad ausgeglichen, bis die Istfüllung  $F_I$  und die Sollfüllung  $F_S$  übereinstimmen. Eine rasche dynamische Regelung der Verbrennung war allerdings bisher problematisch.

Diese Nachteile können verringert werden, wenn der Einfluss der Abweichung in der Füllung bei der Regelung der Verbrennung direkt berücksichtigt wird. Mit Hilfe von Sensoren 103 (Luftmasse, Temperaturen und Drücken) ist es möglich, mit einfachen physikalischen Berechnungen 104 die Parameter der Füllung zu ermitteln, die einen direkten Einfluss auf die Verbrennung haben. Durch die Identifikation einer solchen Kenngröße ist es weiters möglich, die Abweichung der aktuellen Füllung  $F_I$  von der Sollfüllung  $F_S$  zu berechnen und damit vorher-

zusagen, welche Auswirkung diese Abweichung auf die Verbrennung haben wird. Eine geeignete Berechnung der Füllung ist dafür Voraussetzung.

Durch die Information über die Abweichung der Füllung und dem Wissen, wie sich diese Abweichung auf die Verbrennung auswirkt, kann der Einfluss der Abweichung in der Füllung bei der Regelung der Verbrennung direkt berücksichtigt werden (Influence Equalisation).

Der Sollwert  $V_S$  für die Verbrennung kann wie bisher durch Bestimmen der Verbrennungslage erfolgen, bei der 50% des Kraftstoffes verbrannt sind (MFB 50). Weiters kann der Istwert der Verbrennungslage  $V_I$  durch Verstellen des Einspritzzeitpunktes beeinflusst werden. Zusätzlich kann die Inertgasrate (Inertgasmasse im Verhältnis zur Gesamtmasse) im Zylinder vor jedem Verbrennungseignis mit einem physikalischen Modell 104, basierend auf vorhandenen Sensorenwerten von Standardsensoren 103, ermittelt werden. In der Größe Inertgasrate sind sowohl der Ladedruck, als auch die EGR-Rate und somit der Einfluss von Aufladesystem und EGR- bzw. Drosselklappensteller berücksichtigt. Da sich bei festen Einspritzparametern die Verbrennungslage (MFB 50) im Bereich des oberen Totpunktes linear mit der Kenngröße Inertgasrate verändert, kann aus einer Abweichung zwischen Ist- und Sollinertgasrate direkt die Auswirkung auf die Verbrennungslage errechnet werden.

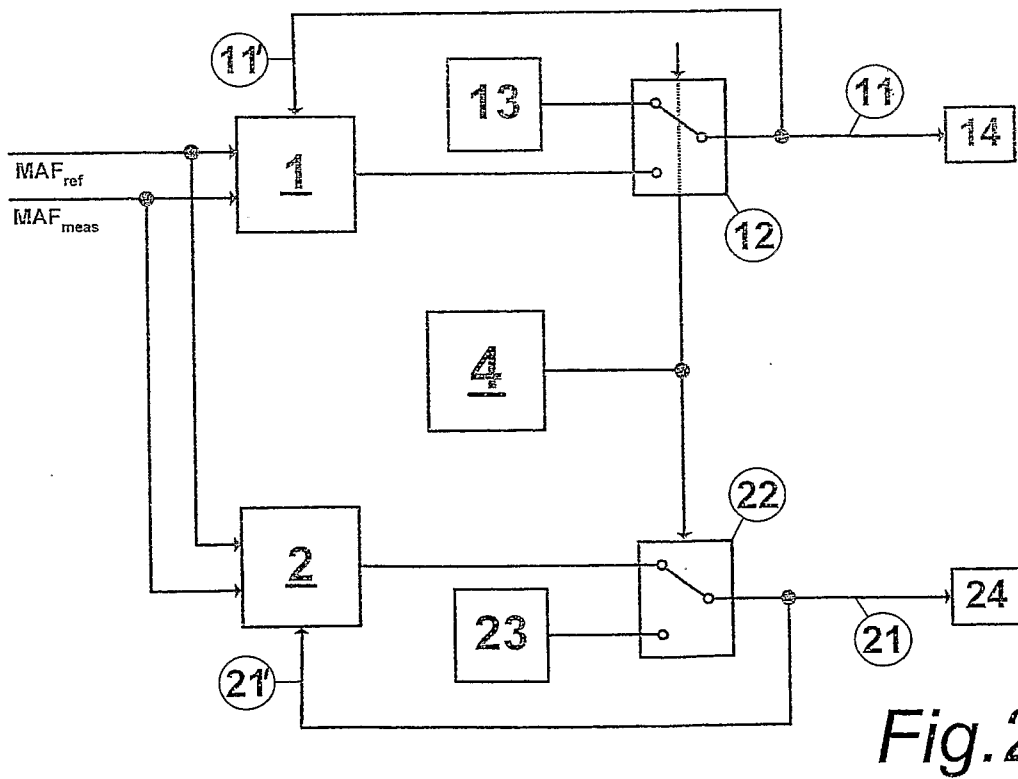
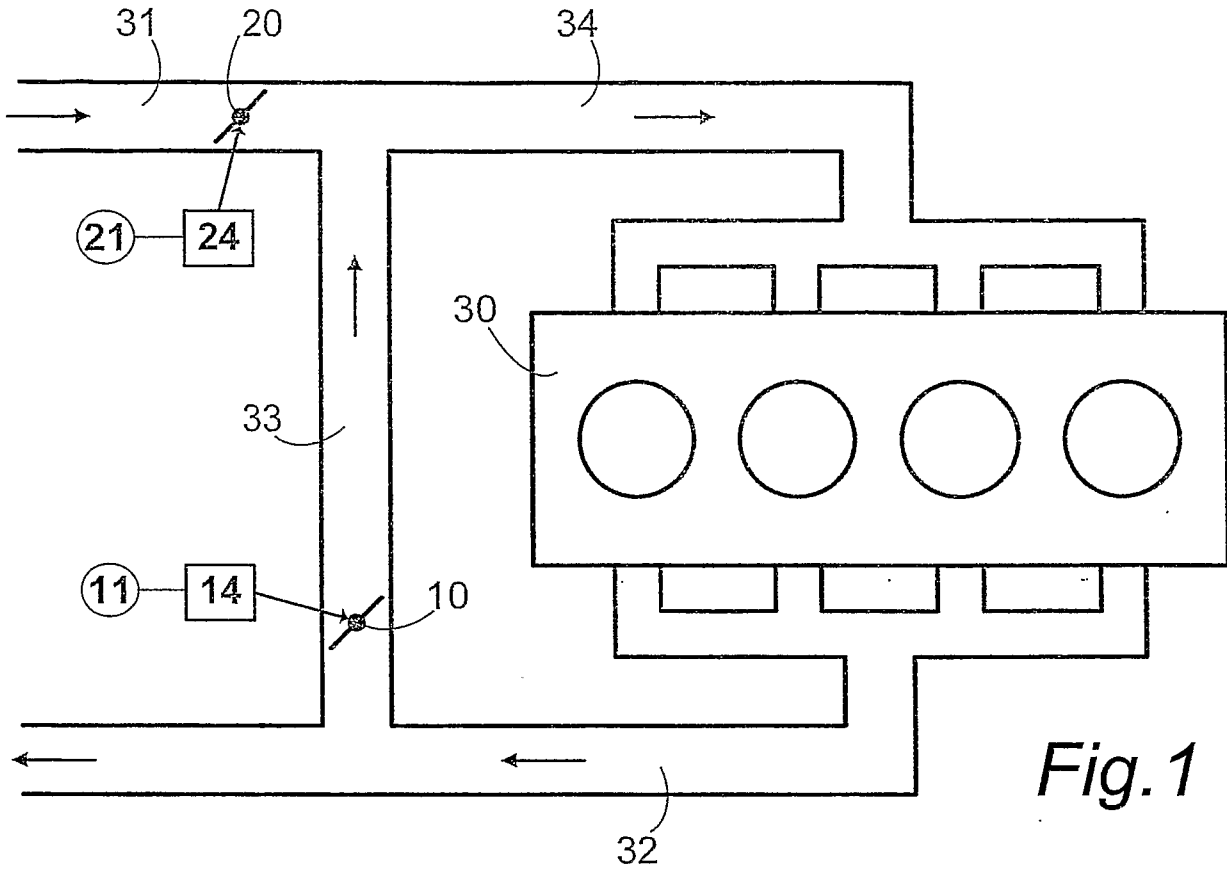
Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann das dynamische Verhalten der Verbrennungsregelung verbessert und somit der Bedatungsaufwand in Bezug auf die Optimierung von transienten Emissionen, Geräusch, Fahrverhalten und Fahrkomfort wesentlich reduziert werden.

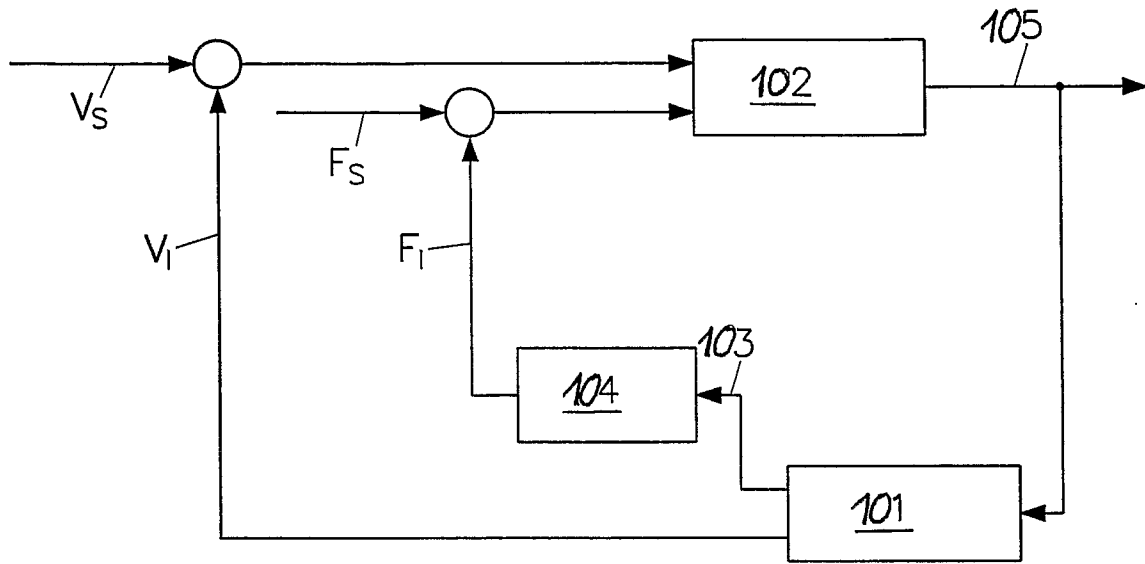
## **PATENTANSPRÜCHE**

1. Verfahren zur Regelung des Luftsystems bei einer Brennkraftmaschine, insbesondere einer Diesel-Brennkraftmaschine mit einem ersten Stellglied für rückgeführtes Abgas im Abgasrückführstrang und einem zweiten Stellglied für Luft im Einlassstrang, wobei die beiden Stellglieder in Abhängigkeit voneinander verstellt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedes Stellglied separat durch jeweils einen eigenen Regler geregelt wird, wobei jeder Regler für die jeweilige Regelstrecke optimal ausgelegt ist, und wobei jedem Regler ein Sollwert zur Verfügung gestellt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zu jedem Zeitpunkt nur jeweils einer der beiden Regler aktiviert und der jeweils andere Regler deaktiviert wird, wobei das Stellglied, dessen Regler deaktiviert ist, mittels eines Vorgabewertes gesteuert werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die tatsächlich den beiden Stellgliedern zur Verfügung gestellten Vorgabewerte dem jeweils entsprechenden Regler zur Initialisierung seines Zustandes rückgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorgabewerte des jeweils deaktivierten Reglers variabel sind.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Umschaltlogik die Aktivierung und Deaktivierung der entsprechenden Regler vornimmt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Umschalten der Regler zwischen Aktivierung und Deaktivierung jeweils an der Begrenzung für das jeweilige Stellglied erfolgt, wobei vorzugsweise die Begrenzung veränderbar ist und wobei vorzugsweise die Begrenzung bezüglich der Endlage des Stellers verschieden ist.
7. Vorrichtung zur Regelung des Luftsystems einer Brennkraftmaschine zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, mit einem ersten Stellglied (14) für rückgeführtes Abgas im Abgasrückführstrang (33) und einem zweiten Stellglied (24) für Luft im Einlassstrang (31), wobei die beiden Stellglieder (14, 24) in Abhängigkeit voneinander verstellbar sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedem Stellglied (14, 24) ein separater Regler (1, 2) zugeordnet ist und jeder separate Regler (1, 2) optimal auf die entsprechende Regelstrecke ausgelegt ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Stellglied (14) ein Abgasrückführventil (10) und das zweite Stellglied (24) eine Drosselklappe (26) ansteuert.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die beiden Stellglieder (14, 24) in Bezug auf ihren Einfluss auf den Luftmassenstrom (MAF) redundant, aber nicht identisch sind.
10. Verfahren zum Regeln der Kennwerte der Verbrennung bei einer Brennkraftmaschine mit zumindest einem Regelpfad, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein schneller Regelpfad, der bei jeder Einspritzung agieren und messen kann, einen langsamen Regelpfad, der in einem Zeitraster eine wesentlich größere Zeit als der schnelle Regelpfad benötigt, im Stellverhalten berücksichtigt, und dass aus der Größe der Abweichung zwischen den Istwerten und den Sollwerten des langsamen Regelpfades direkt die Auswirkungen auf Kennwerte der Verbrennung und/oder Änderungen zumindest eines Kennwertes des schnellen Regelpfades berechnet werden.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Istwert für den schnellen Regelpfad verbrennungszyklusaufgelöst ermittelt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Istwert für den schnellen Regelpfad aus einer Zylinderdruckkurve ermittelt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Istwert für den schnellen Regelpfad aus einer Ionenstrahlungsmessung ermittelt wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Istwert für den schnellen Regelpfad aus einer Beschleunigungsmessung ermittelt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, die Kennwerte zur Regelung des schnellen Regelpfades aus zumindest einem Istwert für den schnellen Regelpfad ermittelt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Istwert der Verbrennung durch Bestimmen der Verbrennungslage, bei der 50% des Kraftstoffes verbrannt sind, bestimmt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stellwert des schnellen Regelpfades in jedem Verbrennungszyklus verstellt werden kann.
18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stellwert des schnellen Regelpfades zumindest ein Einspritzparameter ist.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Istwert des langsamen Regelpfades einen Kennwert der Zylinderfüllung darstellt.
20. Verfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Istwert des langsamen Regelpfades die Inertgasrate im Zylinder vor der Verbrennung ist.
21. Verfahren nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Inertgasrate im Zylinder vor der Verbrennung, vorzugsweise mit einem auf Standardsensoren basierenden physikalischen Modell, ermittelt wird.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus der Größe der Abweichung zwischen den Istwerten und den Sollwerten der Zylinderfüllung direkt die Auswirkungen auf die Istwerte des schnellen Regelpfades und/oder Änderungen der Kennwerte des schnellen Regelpfades errechnet werden.





*Fig. 3*