(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
18. Juni 2009 (18.06.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/074400 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/064875

(22) Internationales Anmeldedatum:
3. November 2008 (03.11.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 060 036.6
13. Dezember 2007 (13.12.2007) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH** [DE/DE]; Vahrenwalder Strasse 9, 30165 Hannover (DE).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **SCHWARTE, Anselm** [DE/DE]; Goethestr. 17, 93077 Bad Abbach (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH**; Postfach 22 16 39, 80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, 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, LY, MA, MD, ME, 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, ST, 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, 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, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:
— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING ADAPTED MEASURING VALUES AND/OR MODEL PARAMETERS FOR CONTROLLING THE AIR FLOW PATH OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG VON ADAPTIERTEN MESSWERTEN UND/ODER MODELLPARAMETERN ZUR STEUERUNG DES LUFTPFADS VON VERBRENNUNGSMOTOREN

(57) Abstract: The invention relates to a method for determining adapted measuring values and/or model parameters for controlling the air flow path of internal combustion engines. According to the invention, at least two measuring values and/or model parameters are simultaneously adapted, at least one total error variable which describes an inconsistency of the measuring values and model parameters being divided into individual correction variables for the measuring values and/or model parameters to be adapted, and these correction variables being applied to the measuring values and/or model parameters to be adapted. The invention also relates to a method for determining an adapted nominal value for the air flow mass to be supplied to an internal combustion engine, as a reference variable for an exhaust gas recirculation regulation.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von adaptierten Messwerten und/oder Modellparametern zur Steuerung des Luftpfads von Verbrennungsmotoren. Erfindungsgemäß werden mindestens zwei Messwerte und/oder Modellparameter gleichzeitig adaptiert, indem mindestens eine Gesamtfehlergröße, die eine Inkonsistenz der Messwerte und Modellparameter beschreibt, in individuelle Korrekturgrößen für die zu adaptierenden Messwerte und/oder Modellparameter aufgeteilt wird und diese Korrekturgrößen auf die zu adaptierenden Messwerte und/oder Modellparameter angewendet werden. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Bestimmung eines adaptierten Sollwerts für die einem Verbrennungsmotor zuzuführende Luftmasse als Führungsgröße für eine Abgasrückführungs-Regelung.

WO 2009/074400 A2

Beschreibung

Verfahren zur Bestimmung von adaptierten Messwerten und/oder Modellparametern zur Steuerung des Luftpfads von Verbrennungsmotoren

Die vorliegende Erfindung betrifft gemäß einem ersten Aspekt ein Verfahren zur Bestimmung von adaptierten Messwerten und/oder Modellparametern zur Steuerung des Luftpfads von Verbrennungsmotoren. Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Bestimmung eines adaptierten Sollwerts für die einem Verbrennungsmotor zuzuführende Luftmasse als Führungsgröße für eine Abgasrückführungs-Regelung.

Die exakt aufeinander abgestimmte Zumessung von Frischluftmenge, zurückgeführter Abgasmenge und Kraftstoffmenge bei Verbrennungsmotoren stellt wegen verschärfter gesetzlicher Emissionsgrenzwerte ein zunehmendes Problem dar. Dies gilt sowohl im stationären als auch im dynamischen Motorbetrieb. Bauteil- und Sensortoleranzen beeinflussen die Zumessung der einzelnen Mengen. Daraus ergeben sich erhebliche Emissionsstreuungen der Verbrennungskraftmaschine in der Serie und über die Fahrzeugalterung. Diese Streuungen können zu erheblichen Abweichungen von dem emissionsoptimalen Motorverhalten führen. Insbesondere besteht die Gefahr, dass gesetzliche Vorschriften hinsichtlich der Emissionen verletzt werden.

Weiterhin gelangen die Emissionen beim transienten, dynamischen Motorbetrieb zunehmend in den Fokus der Motoroptimierung. Insbesondere bei Verbrennungskraftmaschinen mit AGR tritt das Problem der dynamischen Zumessung von Frischluftmenge, zurückgeführter Abgasmenge und Kraftstoffmenge dann auf, wenn der Ladedruckaufbau der Drehmomentanforderung verzögert hinterherläuft. Unter diesen Umständen können die geforderte Frischluftmenge und die geforderte AGR-Menge nicht immer gleichzeitig realisiert

werden. In der Folge treten bei heutigen Steuerungsverfahren große Missverhältnisse bei den NOx- und Partikelemissionen auf.

Grundsätzlich besteht ein Zielkonflikt zwischen der Sauerstoffkonzentration vor der Verbrennung, die sich insbesondere hinsichtlich der NOx-Emissionen auswirkt, einerseits, und dem Lambdawert bzw. der Sauerstoffkonzentration nach der Verbrennung, die von besonderer Relevanz für die Partikelemissionen ist, andererseits. Zwischen diesen beiden Zielstellungen muss ein geeigneter Kompromiss gefunden werden (NOx-Partikel-Trade-Off). Dies istinsbesondere im dynamischen Betrieb der Brennkraftmaschine schwierig. Der NOx-Partikel-Trade-Off sollte jedoch auch im dynamischen Betrieb optimal sein.

Zur Lösung der genannten Probleme wurde bisher vornehmlich versucht, die Bauteil- und Sensortoleranzen mit hohem Aufwand möglichst gering zu halten. Außerdem wurde bei der Emissionsauslegung der Fahrzeuge ein Sicherheitsabstand zu den gesetzlichen Grenzwerten vorgehalten, der die Emissionsstreuung im Feld berücksichtigt. Beide bekannten Lösungswege führen jedoch zu hohen Kosten. Ein weiterer, neuerer Lösungsweg besteht in der Adaption der Steuerung auf den individuellen Motor. Solche Vorgehensweisen sind beispielsweise bekannt aus Dietz, Martin et al.: „Zukunftsweisender kleinvolumiger Euro4-Transporter/ Commercial-Vehicle-Motor", 27. Internationales Wiener Motorensymposium 2006, sowie EP 1 327 760 B1 und DE 102 42 233 B3. Aus Lange, Thorsten: „Toleranzeinengung des HFM und Auswirkungen auf die Emissionen", 4. Internationales Forum Abgas- und Partikelemissionen, Ludwigsburg 2006, ist weiterhin bekannt, eine Parameterschätzung einzusetzen, bei der Heißfilmluftmassen-Messer-(HFM-) Kennlinienfehler und AGR-Ventil-Querschnitts-Kennlinienfehler minimiert werden. Bei den bekannten Verfahren wird jeweils eine Größe adaptiert. Daraus ergibt sich das Problem, dass sich die

Fehler der übrigen Größen jeweils auf die adaptierte Größe auswirken.

Zur Lösung des Problems der dynamischen Zumessung von Frischluftmenge und zurückgeführter Abgasmenge ist in Dietz, Martin et al.: „Zukunftsweisender kleinvolumiger Euro4-Transporter/ Commercial-Vehicle-Motor, 27. Internationales Wiener Motorensymposium 2006 und Herrmann, Olaf et al: „Regelung von Ladedruck und AGR-Rate als Mittel zur Emissionsregelung bei Nutzfahrzeugen", Motorentechnische Zeitschrift (MTZ) 10/2005 eine Regelung der AGR-Rate vorgeschlagen worden. Auch bei dieser Vorgehensweise können im dynamischen Betrieb des Motors jedoch ungünstige Emissions-Verhältnisse resultieren. Aus Rötger, Daniel et al.: „Ein modellbasierter Ansatz zur Regelung dieselmotorischer Verbrennungen", Aachener Colloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2006, ist weiterhin bekannt, ein inverses Lambda im Saugrohr zu regeln. Diese Vorgehensweise kann jedoch zu einem sehr kleinen Lambdawert im Abgaskrümmer und damit zu hohen Rußemissionen führen.

Mit den aus dem Stand der Technik bekannten Lösungen lassen sich daher die eingangs genannten Probleme nicht in zufriedenstellender Weise lösen. Ausgehend von dem erläuterten Stand der Technik lag der Erfindung somit die Aufgabe zugrunde, Verfahren der eingangs angegebenen Art bereitzustellen, mit denen in kostengünstiger Weise die Emissionsgrenzen im stationären und im dynamischen Motorbetrieb zuverlässig eingehalten werden.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch die Gegenstände der Patentansprüche 1 und 12 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den abhängigen Patentansprüchen sowie in der Beschreibung mit den Ausführungsbeispielen.

Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe für ein Verfahren zur Bestimmung von adaptierten Messwerten

und/oder Modellparametern zur Steuerung des Luftpfads von Verbrennungsmotoren dadurch gelöst, dass mindestens zwei Messwerte und/oder Modellparameter gleichzeitig adaptiert werden, indem mindestens eine Gesamtfehlergröße, die eine Inkonsistenz der Messwerte und Modellparameter beschreibt, in individuelle Korrekturgrößen für die zu adaptierenden Messwerte und/oder Modellparameter aufgeteilt wird und diese Korrekturgrößen auf die zu adaptierenden Messwerte und/oder Modellparameter angewendet werden.

Zur Beschreibung des Verhaltens von Verbrennungsmotoren und insbesondere des Luftpfads dienen Modelle. Erfindungsgemäß können die in diesen Modellen berücksichtigten Parameter adaptiert werden. Weiterhin werden mittels geeigneter Sensoren und Bauteile Messwerte zum Verhalten des Verbrennungsmotors, insbesondere des Luftpfads, aufgenommen. Auch diese Messwerte können erfindungsgemäß adaptiert werden. Erfindungsgemäß werden mindestens zwei Messwerte und/oder Modellparameter, also mindestens zwei Variablen aus der gemeinsamen Gruppe der Messwerte und der Modellparameter (beispielsweise ein Messwert und ein Modellparameter usw.) gleichzeitig adaptiert. Dazu wird eine die zu erwartenden Toleranzen der die Messwerte aufnehmenden Bauteile bzw. Sensoren sowie die Modellfehler (Inkonsistenz der Messwerte und Modellparameter) beschreibende Gesamtfehlergröße herangezogen. Die zu erwartenden Toleranzen sind die zu erwartenden Messfehler oder Modellfehler. In dieser Hinsicht kann beispielsweise die Standardabweichung solcher Werte herangezogen werden. Aus der Gesamtfehlergröße wird anschließend für jeden zu adaptierenden Messwert bzw. Modellparameter eine individuelle Korrekturgröße erstellt, indem die Gesamtfehlergröße auf die unterschiedlichen Korrekturgrößen aufgeteilt wird. Anschließend werden die Korrekturgrößen zur Adaption auf die Messwerte und/oder Modellparameter angewendet. Die Gesamtfehlergröße und die Korrekturgrößen sind vorzugsweise Gesamtfehlerfaktoren und Korrekturfaktoren. Zur Adaption können die nicht adaptierten

Größen dann jeweils mit den Korrekturfaktoren multipliziert werden.

Basis für die erfindungsgemäße Adaption ist die Ausnutzung redundanter Informationen in den Messgrößen über ein vorzugsweise physikalisches Modell. Im einfachsten Fall besteht das Modell aus nur einer Gleichung. Sämtliche Variablen und Parameter der Gleichung müssen bekannt sein. Die Gleichung kann so umgeformt werden, dass auf einer Gleichungsseite eine 1 stehen bleibt. Diese Gleichung ist jedoch nur im idealen Fall erfüllt. Werden Messwerte und angenommene Modellparameter in die Gleichung eingesetzt, so wird beispielsweise aufgrund der Bauteil- und Sensortoleranzen eine Inkonsistenz auftreten. Daher wird auf der Gleichungsseite statt der 1 eine Gesamtfehlergröße eingeführt, die die Inkonsistenz der Messwerte und Modellannahmen beschreibt. Das Adaptionsverfahren verwendet dann die Gesamtfehlergröße und verteilt sie als Korrekturgrößen auf die Variablen der Gleichung entsprechend der Unzuverlässigkeit bzw. der angenommenen Standardabweichungen der Messgrößen und Modellparameter. Somit ergibt sich eine gleichzeitige Adaption mehrerer Variablen und Parameter der Gleichung.

Die Gesamtfehlergröße oder der Gesamtfehlerfaktor können über ein Modell, welches die physikalischen Größen (Messwerte) und Modellparameter miteinander verknüpft, berechnet werden. Die aus der Gesamtfehlergröße gebildeten Korrekturgrößen bzw. Korrekturfaktoren können in Kennlinien oder -feldern abgespeichert bzw. gelernt werden. Zur Adaption werden die Korrekturgrößen dann auf die Messwerte und Modellparameter verteilt, so dass das Modell und die Variablen in sich konsistent sind.

Der Vorteil der Erfindung liegt darin, dass mehrere Größen gleichzeitig adaptiert werden und somit die zu erwartenden Streuungen mehrerer Größen berücksichtigt werden. Die individuellen Ungenauigkeiten bzw. Toleranzen der Sensoren

und Komponenten werden im statistischen Mittel den richtigen Größen zugeordnet, statt wie beim Stand der Technik (monokausal) nur eine Größe mit den anderen auch fehlerbehafteten Größen zu adaptieren. Die erfindungsgemäße Adaption ermöglicht somit eine erhebliche Toleranzeinengung der resultierenden Emissionen des Verbrennungsmotors.

Dabei kann die Adaption eine Größe auch unverändert lassen. Die Korrekturgröße kann im Falle eines Korrekturfaktors also beispielsweise auch gleich 1 sein. Der Verbrennungsmotor kann eine Abgasrückführungsregelung (AGR) aufweisen.

Das Verfahren wird im Folgenden anhand eines Beispiels erläutert.

Für die Sauerstoffkonzentration vor der Verbrennung, bzw. im Einlasskrümmer nach einer AGR-Zumischung (Intake Manifold O_2-Concentration) gilt für vorteilhafte Vereinfachungen:

$$O_2 = O_{2,\mathrm{air}} \cdot \left(1 - L_{st} \cdot m_F \cdot \frac{\frac{\eta_{\mathrm{vol}} \cdot V_{\mathrm{cyl}} \cdot p_{2\mathrm{i}}}{R \cdot T_{\mathrm{EGR}}} - m_{\mathrm{air}} \cdot \frac{T_{\mathrm{air}}}{T_{\mathrm{EGR}}}}{m_{\mathrm{air}}^2 \cdot \left(1 - \frac{T_{\mathrm{air}}}{T_{\mathrm{EGR}}} \right) + m_{\mathrm{air}} \cdot \frac{\eta_{\mathrm{vol}} \cdot V_{\mathrm{cyl}} \cdot p_{2\mathrm{i}}}{R \cdot T_{\mathrm{EGR}}}} \right)$$

Dabei und auch im weiteren Verlauf der Anmeldung bedeuten:

- m_{air} (Frisch-)Luftmasse, die dem Motor pro Hub zugeführt wird (vor AGR-Zumischung) (air mass per stroke),
- η_{Vol} volumetrischer Wirkungsgrad (volumetric efficiency),
- p_{2i} Eingangsdruck bzw. Ladedruck vor der Verbrennung im Einlasskrümmer (inlet pressure),
- m_F Kraftstoffmenge pro Hub (fuel mass per stroke),
- T_{air} Lufttemperatur der Frischluft vor AGR-Zumischung (air temperature),
- T_{EGR} Temperatur des rückgeführten Abgases vor der Zumischung(EGR temperature)
- V_{cyl} Zylinderhubvolumen (cylinder volume),

$O_{2,air}$ Sauerstoffkonzentration der dem Verbrennungsmotor zugeführten Frischluft (vor AGR-Zumischung) (ca. 0,21),

L_{st} stöchiometrisches Luft-/Kraftstoffverhältnis (ca. 14,4 bis 14,7).

Die aufgeführten Abkürzungen gelten auch im weiteren Verlauf der vorliegenden Anmeldung. Für den Lambdawert bzw. die Sauerstoffkonzentration nach der Verbrennung gilt:

$$\lambda = \frac{m_{\text{air}}}{L_{st} \cdot m_F}$$

Für einen Verbrennungsmotor mit geschlossenem AGR-Ventil gilt im Idealfall:

$$\frac{m_{\text{air}} \cdot R \cdot T_{\text{air}}}{\eta_{\text{vol}} \cdot V_{\text{cyl}} \cdot p_{2\text{i}}} = 1$$

R bezeichnet dabei die individuelle Gaskonstante von Luft oder Luft/AGR-Gemisch (ca. 287-288 J/(kg K)). Im Realfall tritt aufgrund der Bauteil- und Sensortoleranzen eine Inkonsistenz der Gleichung auf. Daher wird ein Gesamtfehlerfaktor $F_{intake,mdl}$ eingeführt:

$$\frac{m_{\text{air,mes}} \cdot R \cdot T_{\text{air,mes}}}{\eta_{\text{vol,mdl}} \cdot V_{\text{cyl}} \cdot p_{2\text{i,mes}}} = F_{\text{intake,mdl}}$$

Die Angabe „mes" bezeichnet jeweils einen gemessenen Wert und die Angabe „mdl" einen Modellparameter.

Zur Adaption der Luftmasse und des volumetrischen Wirkungsgrades wird der Gesamtfehlerfaktor $F_{intake,mdl}$ in zwei Korrekturfaktoren c_η, c_{air} für den volumetrischen Wirkungsgrad und die gemessene Luftmasse aufgeteilt:

$$\frac{m_{\text{air,mes}} \cdot c_{\text{air}} \cdot R \cdot T_{\text{air,mes}}}{\eta_{\text{vol,mdl}} \cdot c_\eta \cdot V_{\text{cyl}} \cdot p_{2\text{i,mes}}} = 1, \text{ wobei } \frac{c_\eta}{c_{\text{air}}} = F_{\text{intake,mdl}}$$

Erfindungsgemäß kann insbesondere eine Mehrzahl von physikalischen Größen, insbesondere Messwerten und Modellparametern, adaptiert werden. Dabei können mehrere Modellgleichungen benutzt werden. Der Vorteil liegt dann darin, dass Adaptionen, die auf unterschiedlichen Modellen beruhen, aber teilweise identische Größen beinhalten, konsistent zueinander gebildet werden können. So können beispielsweise die Luftmassenadaption aus einer Verbrennungsgleichung und die Luftmassenadaption aus einer Motoransaugverhalten-Gleichung konsistent aufeinander abgestimmt werden und die Zuverlässigkeit der Adaption so erhöht werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren findet bevorzugt Anwendung bei Verbrennungsmotoren mit Abgasrückführungen(AGR). Im Zusammenhang der vorliegenden Anmeldungen kann das Bestimmen einer Größe immer ein Berechnen dieser Größe bedeuten. Es kann aber auch beispielsweise eine Auswahl der Größe aus einem Kennfeld oder ähnliches heißen.

Nach einer Ausgestaltung kann bei der Ermittlung der individuellen Korrekturgröße eines zu adaptierenden Messwerts und/oder Modellparameters eine Gewichtung in Abhängigkeit von den erwarteten Toleranzen des jeweils zu adaptierenden Messwerts und/oder Modellparameters erfolgen. In diesem Fall werden die Korrektur- bzw. Adaptionsgrößen über Gewichtungsgrößen berechnet, die ein Maß für die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der jeweiligen Mess- und Modellparametergrößen sind. Je größer die Streuung der Mess- oder Modellparametergröße ist, desto stärker wird diese Größe adaptiert. Die Gewichtungsfaktoren können in Abhängigkeit von Betriebsparametern und/oder dem Motoralter berechnet werden. Es ist auch möglich, dass die individuellen Korrekturgrößen betriebspunkabhängig gelernt werden und in Kennfeldern abgespeichert werden.

Die mindestens eine Gesamtfehlergröße kann in besonders einfacher Weise mittels mindestens einer Modellgleichung

bestimmt werden. Dabei kann mindestens eine Modellgleichung die Verbrennung in dem Verbrennungsmotor beschreiben. Es ist aber auch möglich, dass mindestens eine Modellgleichung das Ansaugverhalten des Verbrennungsmotors beschreibt.

Im Folgenden wird ein Beispiel angegeben. Die Korrekturfaktoren c_{air}, c_{η} sind Funktionen der Gesamtfehlergröße $F_{intake,mdl}$, sowie der zugehörigen Gewichtungsgrößen bzw. Gewichtungsfaktoren w_{air} und w_{η}:

$$\left[c_{\text{air}}, c_{\eta}\right] = f\left(F_{\text{intake,mdl}}, w_{\text{air}}, w_{\eta}\right)$$

Die Gewichtungsfaktoren w_{air} und w_{η} wiederum sind Funktionen der Motordrehzahl (N), der Last- bzw. des Drehmoments (TQI) sowie des Alters des Verbrennungsmotors (age):

$$\left[w_{\text{air}}, w_{\eta}\right] = f\left(N, TQI, age\right)$$

Für eine ausreichend genaue Berechnung der Korrekturfaktoren werden zwei Iterationen durchgeführt:

Erste Iteration:

$$\frac{1}{c'_{\text{air}}} = 1 + \left(F_{\text{intake,mdl}} - 1\right) \cdot w_{\text{air}}$$
$$c'_{\eta} = 1 + \left(F_{\text{intake,mdl}} - 1\right) \cdot w_{\eta}$$

$$0 \le w_{\text{air}} + w_{\eta} \le 1$$

Zweite Iteration:

$$F'_{\text{intake}} = \frac{1 + \left(F_{\text{intake,mdl}} - 1\right) \cdot \left(w_{\text{air}} + w_{\eta}\right)}{\frac{c'_{\eta}}{c'_{\text{air}}}}$$

$$\frac{1}{c_{\text{air}}} = \frac{1}{c'_{\text{air}}} \cdot \frac{1}{1 - w_{\text{air}} + F'_{\text{intake}} \cdot w_{\text{air}}}$$

$$c_{\eta} = c'_{\eta} \cdot \left(1 - w_{\eta} + F'_{\text{intake}} \cdot w_{\eta}\right)$$

Die Kennzeichnung c' bzw. F' kennzeichnet dabei jeweils Zwischenergebnisse der Iteration.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung können die adaptierten Messwerte und/oder Modellparameter als Regelgrößen und/oder als Eingangsgrößen zur Berechnung von Steuerungs- und Regelgrößen bzw. vorteilhaften Führungsgrößen verwendet werden. Gemäß dieser Ausgestaltung fließen die Ergebnisse der Adaption in geeigneter Weise in die Steuerung und Regelung des Verbrennungsmotors ein und realisieren so eine Toleranzeinengung der Emissionen.

Nach einer weiteren Ausgestaltung können mittels einer Korrekturgröße für eine geschätzte Einspritzmenge weitere Lastgrößen des Verbrennungsmotors adaptiert werden. Insbesondere ist es möglich, mittels einer Korrekturgröße für einen volumetrischen Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors einen Ladedrucksollwert für den Verbrennungsmotor derart zu adaptieren, dass ein verringerter volumetrischer Wirkungsgrad zu einem höheren Ladedrucksollwert führt, um eine verringerte Zylinderfüllung auszugleichen. Das Betriebsverhalten des Verbrennungsmotors kann so weiter verbessert werden.

Nach dem beschriebenen Adaptionsverfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung kann das im Folgenden beschriebene Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung ausgeführt werden.

Gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe für ein Verfahren zur Bestimmung eines adaptierten Sollwerts für die einem Verbrennungsmotor zuzuführende Luftmasse als Führungsgröße für eine Abgasrückführungs-Regelung durch die folgenden Verfahrensschritte gelöst: Bestimmen einer ersten Sollluftmasse oder einer ersten Sollabgasrückführungsrate, die zu einer optimalen Sauerstoffkonzentration vor der Verbrennung in den Verbrennungsmotor führen, Bestimmen einer zweiten Sollluftmasse oder einer zweiten Sollabgasrückführungsrate, die zu einer optimalen Sauerstoffkonzentration nach der Verbrennung in dem Verbrennungsmotor führen, und Bestimmen eines adaptierten Sollwerts für die Luftmasse als Führungsgröße für die Abgasrückführungs-Regelung, indem aus den ersten und zweiten Sollluftmassen oder aus den ersten und zweiten Sollabgasrückführungsraten ein gewichteter Mittelwert gebildet wird.

In diesem Fall weist der Verbrennungsmotor also eine Abgasrückführungs-Regelung auf. Die erste und zweite Sollluftmasse (d.h. Frischluft) sind dabei jeweils die dem Verbrennungsmotor zuzuführenden Sollluftmassen vor der AGR-Zumischung. Die ggfs. adaptierten Variablen wie Luftmasse, Ladedruck, volumetrischer Wirkungsgrad, Lambdawert, Einspritzmenge usw. fließen in die Steuerung der Verbrennungskraftmaschine ein, entweder um direkt als Regelgröße verwendet zu werden oder um die Führungsgrößen bzw. Sollwerte zu berechnen. Das Problem der dynamischen angepassten Sollluftmasse als Führungsgröße für die AGR-Regelung sowie der optimale Kompromiss zwischen NOx- und Partikelemissionen des Motors wird gemäß diesem zweiten Aspekt der Erfindung dadurch gelöst, dass zunächst eine vorläufige Sollluftmasse berechnet wird, die eine 100%-Priorisierung der Sauerstoff-Konzentration im Saugrohr des Verbrennungsmotors repräsentiert. Diese Sollluftmasse führt zu sehr günstigen NOx-Emissionen. Weiterhin wird die Sollluftmasse auch klassisch über Kennfelder im wesentlichen

lastabhängig berechnet, wobei dieses einer 100%-Priorisierung des Luft-/Kraftstoffverhältnisses bzw. Lambdawert bzw. Sauerstoffkonzentration nach der Verbrennung (im Auslasskrümmer des Verbrennungsmotors) entspricht. Diese Sollluftmasse führt zu sehr günstigen Partikelemissionen. Anstelle der ersten und zweiten Sollluftmasse ist es auch möglich, eine erste und zweite Sollabgasrückführungsrate mit einer entsprechenden Priorisierung der Sauerstoffkonzentration vor bzw. nach der Verbrennung zu verwenden.

Zum Finden des gewünschten Kompromisses zwischen NOx- und Partikelemission werden die beiden gegensätzlich priorisierten Sollluftmassen über eine gewichtete Mittelwertbildung addiert. Der auf diese Weise ermittelte adaptierte Sollwert für die dem Motor zuzuführende Luftmasse (nach der AGR-Zumischung) dient dann als Führungsgröße für die Abgasrückführungsregelung.

Mit der Gewichtung wird eine situationsangepasste Priorisierung der beiden Zielgrößen Sauerstoffkonzentration vor und nach der Verbrennung im Verbrennungsmotor realisiert. Gemäß diesem Aspekt der Erfindung wird ein guter dynamischer Ausgleich zwischen der geforderten Zumessung von Frischluftmenge und zugeführter Abgasmenge realisiert. Insbesondere im instationären Motorbetrieb wird ein guter Kompromiss realisiert zwischen der Absenkung der Sauerstoffkonzentration auf der Motoreinlassseite zur NOx-Reduzierung und ausreichend Restsauerstoff im Abgas für eine vollständige rußarme Verbrennung und damit geringen Partikelemissionen. Auch im dynamischen Motorbetrieb wird der gewünschte NOx-Partikel-Trade-Off somit zuverlässig und flexibel realisiert, wobei die Emissionen insgesamt verringert werden.

Die Gewichtung kann in Abhängigkeit von dem Motorbetriebszustand und/oder einer das dynamische Verhalten der Brennkraftmaschine beschreibenden Dynamikkenngröße

erfolgen. Auf diese Weise kann der gewünschte Kompromiss zwischen NOx- und Partikelemissionen individuell und abhängig von dem jeweiligen Betriebszustand der Brennkraftmaschine gewählt werden. Als Dynamikkenngröße kann beispielsweise ein funktionaler Zusammenhang aus Drehzahlgradient und Lastgrößen-Gradient dienen.

Nach einer weiteren Ausgestaltung können die erste Sollluftmasse oder die erste Sollabgasrückführungsrate in Abhängigkeit von Betriebsparametern der Brennkraftmaschine, insbesondere des Ladedrucks, der Einspritzmenge, der Ladelufttemperatur, der Abgasrückführungstemperatur, des Zylindervolumens des Verbrennungsmotors und/oder des volumetrischen Wirkungsgrads, bestimmt werden. Auf diese Weise kann die Berechnung des adaptierten Sollwerts für die dem Verbrennungsmotor zuzuführende Luftmasse als Führungsgröße für eine Abgasrückführungsregelung in besonders flexibler Weise bestimmt werden.

Die erste Sollluftmasse kann dabei aus einer Sollsauerstoffkonzentration vor der Verbrennung (und nach der AGR-Zumischung) in dem Verbrennungsmotor bestimmt werden. Gemäß dieser Ausgestaltung kann eine Sollsauerstoffkonzentration vor der Verbrennung, beispielsweise im Einlasskrümmer des Motors, durch eine Kennfeldstruktur in Abhängigkeit des Betriebszustandes des Motors berechnet werden. Auf Basis der Sollsauerstoffkonzentration vor der Verbrennung und aktueller Motorbetriebsgrößen wie Ladedruck, Einspritzmenge, Ladelufttemperatur, AGR-Temperatur, volumetrischer Wirkungsgrad etc. kann die erste Sollluftmasse berechnet werden. Der Vorteil dieser Ausgestaltung liegt darin, dass die Sauerstoffkonzentration vor der Verbrennung eine charakteristische Größe zur Beschreibung der Wirksamkeit der NOx-Reduzierung bzw. der NOx-Emissionen ist. Anstatt die Sollsauerstoffkonzentration vor der Verbrennung modellbasiert zu berechnen und als Regelgröße zu verwenden, ist die Umrechnung der Sollsauerstoffkonzentration in eine

Sollluftmasse vorteilhaft für die anschließende Priorisierung und besonders schnell, insbesondere schneller als eine Beobachterregelung. Alternativ oder zusätzlich kann die erste Sollluftmasse auch aus einer Sollabgasrückführungsrate bestimmt werden.

Die Berechnung der ersten Sollluftmasse wird anhand des folgenden Beispiels erläutert:

Die erste Sollluftmasse $m_{air,sp,O2}$ (sp=Setpoint)ist dabei eine Funktion der Sollsauerstoffkonzentration $O_{2,sp}$ vor der Verbrennung und nach der AGR-Zumischung, der Lufttemperatur vor der AGR-Zumischung T_{air}, der Temperatur des rückgeführten Abgases T_{EGR}, des volumetrischen Wirkungsgrades η_{Vol}, des Zylindervolumens V_{cyl}, des Eingangsdrucks p_{2i} sowie der Kraftstoffmasse pro Hub m_F:

$$m_{\text{air,sp,O2}} = f\left(O_{2,\text{sp}}, T_{\text{air}}, T_{\text{EGR}}, \eta_{\text{vol}}, V_{\text{cyl}}, p_{2\text{i}}, m_{\text{F}}\right)$$

Eine vorteilhafte modellbasierte Berechnung ist Folgende:

$$m_{\text{air,sp,O2}} = \frac{2 \cdot c}{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}$$

wobei

$$a = \left(1 - \frac{T_{\text{air}}}{T_{\text{EGR}}}\right)\left(O_{2,\text{sp}} - O_{2,air}\right)$$

$$b = \frac{\eta_{\text{vol}} \cdot V_{\text{cyl}} \cdot p_{2\text{i}}}{R \cdot T_{\text{EGR}}} \cdot \left(O_{2,\text{sp}} - O_{2,air}\right) - O_{2,air} \cdot L_{st} \cdot m_{\text{F}} \cdot \frac{T_{\text{air}}}{T_{\text{EGR}}}$$

$$c = O_{2,air} \cdot L_{st} \cdot m_{\text{F}} \cdot \frac{\eta_{\text{vol}} \cdot V_{\text{cyl}} \cdot p_{2\text{i}}}{R \cdot T_{\text{EGR}}}$$

Die erste Sollluftmasse kann dabei für unterschiedliche Sensorkonfigurationen berechnet werden. Ebenso können bestimmte Größen, wie beispielsweise die Temperatur des rückgeführten Abgases T_{EGR} ersatzweise über ein Modell berechnet werden.

Der adaptierte Sollwert für die Luftmasse kann durch einen Luftmassenmindestwert nach unten begrenzt werden. Diese Mindestluftmasse basiert dabei auf einem Mindestlambdawert. Gemäß dieser Ausgestaltung wird eine ungünstige Kalibration der Sollluftmassen-Priorisierung so begrenzt, dass beispielsweise bei einer maximalen Drehmomentanforderung (Kickdown) in jedem Fall die erforderliche maximale Luftmasse zur Verfügung steht.

Die beiden beschriebenen erfindungsgemäßen Aspekte können miteinander kombiniert werden. Insbesondere kann für die Bestimmung des adaptierten Sollwerts für die Luftmasse gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung ein oder mehrere gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung adaptierte Messwerte und/oder Modellparameter berücksichtigt werden. In besonders vorteilhafter Weise können die erste Sollluftmasse oder die erste Sollabgasrückführungsrate mit den adaptierten Messwerten und/oder Modellparametern gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung berechnet werden. Dabei können beispielsweise der adaptierte volumetrische Wirkungsgrad, die adaptierte gemessene Einspritzmenge, der adaptierte gemessene Ladedruck usw. berücksichtigt werden.

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben:

Zur gleichzeitigen Adaption mehrerer Messwerte und/oder Modellparameter werden zwei Modellgleichungen so umgeformt, dass auf einer Gleichungsseite eine 1 steht. Zur Darstellung der Inkonsistenz der Messwerte und Modellparameter wird jeweils ein Gesamtfehlerfaktor eingeführt, der die 1 ersetzt.

Für das Ansaugverhalten des Verbrennungsmotors ergibt sich folgendes Modell (intake model):

$$\frac{m_{\mathrm{air,mes}} \cdot R \cdot T_{\mathrm{air,mes}}}{\eta_{\mathrm{vol,mdl}} \cdot V_{\mathrm{cyl}} \cdot p_{\mathrm{2i,mes}}} = F_{\mathrm{intake,mdl}}$$

Für die Verbrennung in dem Verbrennungsmotor ergibt sich folgendes Modell (combustion model):

$$\frac{m_{\text{air,mes}}}{L_{st} \cdot m_{\text{F}} \cdot \lambda} = F_{\text{combust,mdl}}$$

Anschließend werden die Gesamtfehlerfaktoren $F_{intake,mdl}$ und $F_{combust,mdl}$ als individuelle Korrekturfaktoren c_{air}, c_{η}, c_{P}, c_{F} und c_{λ} auf die zugehörigen zu adaptierenden Messwerte bzw. Modellparameter verteilt, um die Konsistenz der Modelle herzustellen:

$$\frac{m_{\text{air,mes}} \cdot c_{\text{air}} \cdot R \cdot T_{\text{air,mes}}}{\eta_{\text{vol,mdl}} \cdot c_{\eta} \cdot V_{\text{cyl}} \cdot p_{\text{2i,mes}} \cdot c_{\text{p}}} = 1, \text{ wobei } \frac{c_{\eta} \cdot c_{\text{p}}}{c_{\text{air}}} = F_{\text{intake,mdl}}$$

$$\frac{m_{\text{air,mes}} \cdot c_{\text{air}}}{L_{st} \cdot m_{\text{F}} \cdot c_{\text{F}} \cdot \lambda \cdot c_{\lambda}} = 1, \text{ wobei } \frac{c_{\text{F}} \cdot c_{\lambda}}{c_{\text{air}}} = F_{\text{combust,mdl}}$$

Dabei bezeichnen:

- c_{air} Korrekturfaktor für die Luftmasse (correction factor for air mass flow),
- c_{η} Korrekturfaktor für den volumetrischen Wirkungsgrad (correction factor for volumetric efficiency),
- c_{P} Korrekturfaktor für den Eingangs- bzw. Ladedruck (correction factor for boost pressure),
- c_{F} Korrekturfaktor für die Einspritzmenge (correction factor for fuel injection mass),
- c_{λ} Korrekturfaktor für Abgas-Lambdawert (correction factor for lambda exhaust gas)

Im nächsten Schritt werden die Gewichtungsfaktoren für die Korrekturfaktoren berechnet. Die Korrekturfaktoren sind dabei Funktionen der jeweiligen Gesamtfehlergröße sowie der Gewichtungsfaktoren. Es bezeichnen:

- w_{η} Gewichtungsfaktor für die Korrektur des volumetrischen Wirkungsgrades,

w_p Gewichtungsfaktor für die Korrektur des Ladedrucks bzw. Eingangsdrucks,

w_F Gewichtungsfaktor für die Korrektur der Einspritzmenge,

w_λ Gewichtungsfaktor für die Korrektur des Lambdawerts,

w_{intake} Gewichtungsfaktor für den Ausgleich zwischen dem Eingangs- und Verbrennungsmodell (balancing between intake and combustion model).

Auf Grundlage des Eingangsmodells (intake model) ergeben sich durch zwei Iterationen die Gewichtungsfaktoren:

Erste Iteration:

$$\frac{1}{c''_{air1}} = 1 + \left(F_{intake,mdl} - 1\right) \cdot w_{air1}$$
$$c''_\eta = 1 + \left(F_{intake,mdl} - 1\right) \cdot w_\eta$$
$$c''_p = 1 + \left(F_{intake,mdl} - 1\right) \cdot w_p$$

$$w_{air1} + w_\eta + w_p \le 1$$

Zweite Iteration:

$$F'_{intake} = \frac{1 + \left(F_{intake,mdl} - 1\right) \cdot \left(w_{air} + w_\eta + w_p\right)}{\frac{c''_\eta \cdot c''_p}{c''_{air}}}$$
$$\frac{1}{c'_{air1}} = \frac{1}{c''_{air1}} \cdot \frac{1}{1 - w_{air1} + F'_{intake} \cdot w_{air1}}$$
$$c'_\eta = c''_\eta \cdot \left(1 - w_\eta + F'_{intake} \cdot w_\eta\right)$$
$$c'_p = c''_p \cdot \left(1 - w_p + F'_{intake} \cdot w_p\right)$$

Auf Grundlage des Verbrennungsmodells (combustion model) ergeben sich die Gewichtungsfaktoren aufgrund der folgenden beiden Iterationen:

Erste Iteration:

$$\frac{1}{c''_{\text{air2}}} = 1 + \left(F_{\text{combust,mdl}} - 1\right) \cdot w_{\text{air2}}$$
$$c''_{\text{F}} = 1 + \left(F_{\text{combust,mdl}} - 1\right) \cdot w_{\text{F}}$$
$$c''_{\lambda} = 1 + \left(F_{\text{combust,mdl}} - 1\right) \cdot w_{\lambda}$$

$$w_{\text{air2}} + w_{\text{F}} + w_{\lambda} \leq 1$$

Zweite Iteration:

$$F'_{\text{combust}} = \frac{1 + \left(F_{\text{combust,mdl}} - 1\right) \cdot \left(w_{\text{air}} + w_{\eta} + w_{\text{p}}\right)}{\frac{c''_{\eta} \cdot c''_{\text{p}}}{c''_{\text{air}}}}$$

$$\frac{1}{c'_{\text{air2}}} = \frac{1}{c''_{\text{air2}}} \cdot \frac{1}{1 - w_{\text{air2}} + F'_{\text{combust}} \cdot w_{\text{air2}}}$$
$$c'_{\text{F}} = c''_{\text{F}} \cdot \left(1 - w_{\text{F}} + F'_{\text{combust}} \cdot w_{\text{F}}\right)$$
$$c'_{\lambda} = c''_{\lambda} \cdot \left(1 - w_{\lambda} + F'_{\text{combust}} \cdot w_{\lambda}\right)$$

In den Iterationen bezeichnen die Zusätze ' und '' jeweils Zwischenergebnisse der Iterationen. Für die Luftmasse wurde bei dem Eingangsmodell der Index „air1" gewählt und bei dem Verbrennungsmodell der Index „air2".

Anschließend kann durch eine ausgleichende Adaption zwischen dem Ansaugverhalten- und Verbrennungsmodell eine Berechnung der jeweiligen gewichteten Korrekturfaktoren erfolgen:

$$\left[c_{\text{air}}, c_{\eta}, c_{\text{p}}, c_{\text{F}}, c_{\lambda}\right] = f\left(c'_{\text{air1}}, c'_{\eta}, c'_{\text{p}}, c'_{\text{air2}}, c'_{\text{F}}, c'_{\lambda}, w_{\eta}, w_{\text{p}}, w_{\text{F}}, w_{\lambda}, w_{\text{intake}}\right)$$

$$0 \leq w_{\text{intake}} \leq 1$$
$$w_{\text{combust}} = 1 - w_{\text{intake}}$$

$$c_{air} = c'_{air1} \cdot \frac{1}{1 - w_{intake} + \frac{c'_{air1}}{c'_{air2}} \cdot w_{intake}}$$

$$c_{\eta} = c'_{\eta} \cdot \frac{1}{1 + \left(- w_{intake} + \frac{c'_{air1}}{c'_{air2}} \cdot w_{intake} \right) \cdot \frac{w_{\eta}}{w_{\eta} + w_{p}}}$$

$$c_{p} = c'_{p} \cdot \frac{1}{1 + \left(- w_{intake} + \frac{c'_{air1}}{c'_{air2}} \cdot w_{intake} \right) \cdot \frac{w_{\eta}}{w_{\eta} + w_{p}}}$$

$$c_{\lambda} = c'_{\lambda} \cdot \frac{1}{1 + \left(- w_{combust} + \frac{c'_{air1}}{c'_{air2}} \cdot w_{combust} \right) \cdot \frac{w_{\lambda}}{w_{\lambda} + w_{F}}}$$

$$c_{F} = c'_{F} \cdot \frac{1}{1 + \left(- w_{combust} + \frac{c'_{air1}}{c'_{air2}} \cdot w_{combust} \right) \cdot \frac{w_{F}}{w_{\lambda} + w_{F}}}$$

Zur Bestimmung eines adaptierten Sollwerts für die einem Verbrennungsmotor zuzuführende Luftmasse als Führungsgröße für eine Abgasrückführungsregelung dient das folgende Beispiel:

Zunächst wird eine erste Sollluftmasse $m_{air,sp,O2}$ berechnet, die zu einer optimalen Sauerstoffkonzentration vor der Verbrennung in dem Verbrennungsmotor führt:

$$m_{air,sp,O2} = \frac{2 \cdot c}{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}$$

wobei

$$a = \left(1 - \frac{T_{air}}{T_{EGR}} \right) \left(O_{2,sp} - O_{2,air} \right)$$

$$b = \frac{\eta_{vol} \cdot V_{cyl} \cdot p_{2i}}{R \cdot T_{EGR}} \cdot \left(O_{2,sp} - O_{2,air} \right) - O_{2,air} \cdot L_{st} \cdot m_{F} \cdot \frac{T_{air}}{T_{EGR}}$$

$$c = O_{2,air} \cdot L_{st} \cdot m_{F} \cdot \frac{\eta_{vol} \cdot V_{cyl} \cdot p_{2i}}{R \cdot T_{EGR}}$$

Dabei ist die Temperatur T_{air} die Lufttemperatur in dem Luftpfad vor dem Verbrennungsmotor und vor der Zumischung des rückgeführten Abgases. Alternativ könnte auch die Temperatur $T_{cyl,up}$, vor dem Verbrennungsmotor jedoch nach der Zumischung des rückgeführten Abgases dienen. In diesem Fall berechnet sich die erste Sollluftmasse folgendermaßen:

$$m_{\text{air,sp,O2}} = \frac{O_{2,air} \cdot L_{st} \cdot m_{\text{F}} \cdot \eta_{\text{vol}} \cdot V_{\text{cyl}} \cdot p_{2\text{i}}}{(O_{2,\text{sp}} - O_{2,air}) \cdot \eta_{\text{vol}} \cdot V_{\text{cyl}} \cdot p_{2\text{i}} + O_{2,air} \cdot L_{st} \cdot m_{\text{F}} \cdot R \cdot T_{\text{cyl,up}}}$$

In den genannten Gleichungen bezeichnen $O_{2,sp}$ die Sollsauerstoffkonzentration vor dem Verbrennungsmotor jedoch nach der Zumischung des rückgeführten Abgases.

Eine weitere Alternative der Berechnung einer ersten Sollluftmasse ist, diese abhängig von einer optimalen Soll-AGR-Rate $r_{EGR,sp}$ zu ermitteln, welche im transienten Motorbetrieb zu günstigen NOx-Emissionen führt:

$$m_{\text{air,sp,EGR}} = \frac{\eta_{\text{vol}} \cdot V_{\text{cyl}} \cdot p_{2\text{i}}}{R \cdot (T_{air} \cdot (1 - r_{EGR,sp}) + T_{EGR} \cdot r_{EGR,sp})} \cdot (1 - r_{EGR,sp})$$

Ebenso ist die Berechnung möglich bei einer gemessenen Temperatur $T_{cyl,up}$, vor dem Verbrennungsmotor:

$$m_{\text{air,sp,EGR}} = \frac{\eta_{\text{vol}} \cdot V_{\text{cyl}} \cdot p_{2\text{i}}}{R \cdot T_{cyl,up}} \cdot (1 - r_{EGR,sp})$$

Anschließend kann in klassischer Weise eine zweite Sollluftmasse bestimmt werden, die zu einer optimalen Sauerstoffkonzentration nach der Verbrennung in dem Verbrennungsmotor führt. Aus den beiden ermittelten ersten und zweiten Sollluftmassen kann dann ein adaptierter Sollwert für die Luftmasse als Führungsgröße für die Abgasrückführungsregelung berechnet werden, indem aus den beiden Sollluftmassen ein gewichteter Mittelwert gebildet wird. Die Gewichtung kann beispielsweise abhängig vom Motorbetriebszustand erfolgen und so flexibel auf die

jeweiligen Bedingungen zugeschnitten werden. Bei der Berechnung der ersten Sollluftmasse können gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung adaptierte Messwerte und/oder Modellparameter herangezogen werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von adaptierten Messwerten und/oder Modellparametern zur Steuerung des Luftpfads von Verbrennungsmotoren, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei Messwerte und/oder Modellparameter gleichzeitig adaptiert werden, indem mindestens eine Gesamtfehlergröße, die eine Inkonsistenz der Messwerte und Modellparameter beschreibt, in individuelle Korrekturgrößen für die zu adaptierenden Messwerte und/oder Modellparameter aufgeteilt wird und diese Korrekturgrößen auf die zu adaptierenden Messwerte und/oder Modellparameter angewendet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Ermittlung der individuellen Korrekturgröße eines zu adaptierenden Messwerts und/oder Modellparameters eine Gewichtung in Abhängigkeit von den erwarteten Toleranzen des jeweils zu adaptierenden Messwerts und/oder Modellparameters erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Gewichtung in Abhängigkeit von Betriebsparametern des Verbrennungsmotors und/oder des Alters des Verbrennungsmotors erfolgt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die individuellen Korrekturgrößen betriebspunkabhängig gelernt werden und vorzugsweise in Kennfeldern abgespeichert werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine

Gesamtfehlergröße mittels mindestens einer Modellgleichung bestimmt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Modellgleichung die Verbrennung in dem Verbrennungsmotor beschreibt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Modellgleichung das Ansaugverhalten des Verbrennungsmotors beschreibt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die adaptierten Messwerte und/oder Modellparameter als Regelgrößen und/oder als Eingangsgrößen zur Berechnung von Steuerungs- und Regelgrößen verwendet werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer Korrekturgröße für eine geschätzte Einspritzmenge weitere Lastgrößen des Verbrennungsmotors adaptiert werden.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer Korrekturgröße für einen volumetrischen Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors ein Ladedrucksollwert für den Verbrennungsmotor derart adaptiert wird, dass ein verringerter volumetrischer Wirkungsgrad zu einem höheren Ladedrucksollwert führt, um eine verringerte Zylinderfüllung auszugleichen.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch die weiteren Schritte nach dem Verfahren gemäß den Ansprüchen 12 bis 19.

12. Verfahren zur Bestimmung eines adaptierten Sollwerts für die einem Verbrennungsmotor zuzuführende Luftmasse als Führungsgröße für eine Abgasrückführungs-Regelung, gekennzeichnet durch die Schritte:
Bestimmen einer ersten Sollluftmasse oder einer ersten Sollabgasrückführungsrate, die zu einer optimalen Sauerstoffkonzentration vor der Verbrennung in dem Verbrennungsmotor führen,
Bestimmen einer zweiten Sollluftmasse oder einer zweiten Sollabgasrückführungsrate, die zu einer optimalen Sauerstoffkonzentration nach der Verbrennung in dem Verbrennungsmotor führen,
Bestimmen eines adaptierten Sollwerts für die Luftmasse als Führungsgröße für die Abgasrückführungs-Regelung, indem aus den ersten und zweiten Sollluftmassen oder aus den ersten und zweiten Sollabgasrückführungsraten ein gewichteter Mittelwert gebildet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Gewichtung in Abhängigkeit von dem Motorbetriebszustand und/oder einer das dynamische Verhalten der Brennkraftmaschine beschreibenden Dynamikkenngröße erfolgt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Sollluftmasse oder die erste Sollabgasrückführungsrate in Abhängigkeit von Betriebsparametern der Brennkraftmaschine, insbesondere des Ladedrucks, der Einspritzmenge, der Ladelufttemperatur, der Abgasrückführungstemperatur, des Zylindervolumens des Verbrennungsmotors und/oder des volumetrischen Wirkungsgrads, bestimmt werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Sollluftmasse aus einer Sollsauerstoffkonzentration vor der Verbrennung in dem Verbrennungsmotor bestimmt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Sollluftmasse aus einer Sollabgasrückführungsrate bestimmt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der adaptierte Sollwert für die Luftmasse durch einen Luftmassenmindestwert nach unten begrenzt wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass für die Bestimmung des adaptierten Sollwerts für die Luftmasse mindestens ein gemäß dem Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 11 adaptierter Messwert und/oder Modellparameter berücksichtigt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine gemäß dem Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 11 adaptierte Messwert und/oder Modellparameter für die Bestimmung der ersten Sollluftmasse oder der ersten Sollabgasrückführungsrate berücksichtigt wird.