



(11) **EP 3 244 046 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**15.11.2017 Patentblatt 2017/46**

(51) Int Cl.:  
**F02D 41/14 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **17166140.8**

(22) Anmeldetag: **12.04.2017**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**MA MD**

(71) Anmelder: **VOLKSWAGEN  
AKTIENGESELLSCHAFT  
38440 Wolfsburg (DE)**

(72) Erfinder: **Segtrop, Benjamin  
48155 Münster (DE)**

(30) Priorität: **12.05.2016 DE 102016208236**

(54) **STEUERUNGSVERFAHREN FÜR EINEN VERBRENNUNGSMOTOR, STEUERGERÄT UND VERBRENNUNGSMOTOR**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Steuerungsverfahren für einen Verbrennungsmotor (2) in einem Fahrzeug, umfassend: Bestimmen einer Führungsgröße ( $x(t)$ ) unter Berücksichtigung einer Betriebszustandsinformation (FW, SB) und einer Differenz ( $\delta$ ) zwischen einer Emissionsobergrenze ( $EM^G$ ) und einer kumulierten Ist-Emissionsgröße ( $EM^K$ ), Beeinflussen eines Betriebszustands des Verbrennungsmotors (2) mittels der Führungsgröße ( $x(t)$ ), so dass wenigstens zwei Ist-Emissionsgrößen so eingestellt werden, dass die entsprechenden kumulierten Ist-Emissionsgrößen in einem Betriebszeitraum mit einer Zusammenstellung aus beliebigen, in zufälliger Reihenfolge eingestellten, unterschiedlichen Betriebszuständen des Verbrennungsmotors (2) Emissionsobergrenzen ( $EM^G$ ) für diesen Betriebszeitraum nicht überschreiten, wobei eine Zielfunktion minimiert wird, indem die Führungsgröße ( $x(t)$ ) mittels einer aus der Differenz ( $\delta$ ) bestimmten Indifferenzkurve (I) aus pareto-optimalen Alternativen ausgewählt wird und zur Bestimmung der Differenz ( $\delta$ ) eine Prädiktioninformation (PI) berücksichtigt wird.

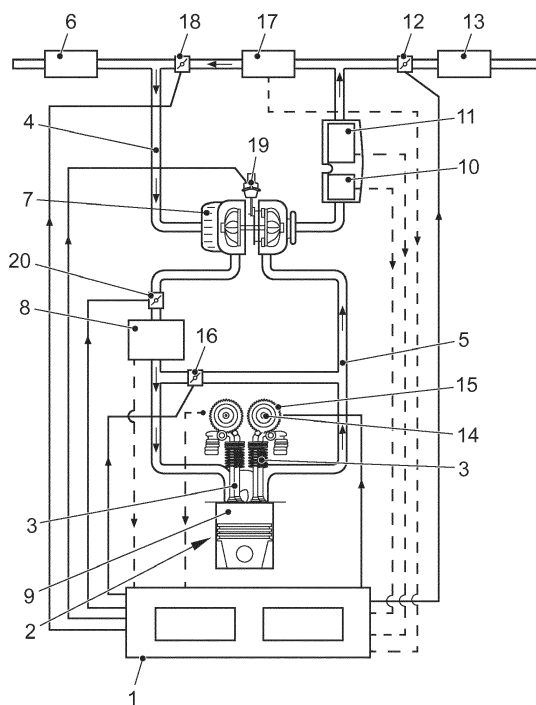


FIG. 1

EP 3 244 046 A1

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Steuerungsverfahren für einen Verbrennungsmotor zur Bestimmung wenigstens einer Führungsgröße für einen Verbrennungsmotor.

**[0002]** Wichtige Motorfunktionen werden mit geeigneten Steuerungsverfahren eingestellt. Steuerungsverfahren ergänzen dabei konstruktive Maßnahmen wie die Brennraumgestaltung und beeinflussen die Gemischbildung in Einspritzsystemen und durch Einspritzverfahren. Im Motorbetrieb senken sie den Kraftstoffverbrauch und die damit zusammenhängenden CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie wesentliche Abgaskomponenten wie Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxide (NOx) sowie Ruß und Partikel.

**[0003]** Dabei werden Informationen über einen Betriebszustand des Motors (zum Beispiel Drehzahl, Drehmoment, gewünschtes Drehmoment, Temperatur, DPF (Diesel-Partikelfilter)beladung) ausgewertet und Führungsgrößen bestimmt, welche den Verbrauch und die Emissionen im Betrieb beeinflussen.

**[0004]** Zur Bestimmung dieser Führungsgrößen dienen oft in einem das Steuerungsverfahren ausführenden Steuergerät zusätzlich hinterlegte Motorkennfelder, in denen bspw. eine Soll-Abgasrückführungsrate oder ein Soll-Ladedruck in Abhängigkeit zum oben genannten Betriebszustand hinterlegt sind.

**[0005]** Geeignete Führungsgrößen sind zum Beispiel Abgasrückführungsrate, Abgasrückführungsaufteilung, Füllung, Einspritzzeitpunkt, Zündzeitpunkt. Von diesen Führungsgrößen werden dann Stellgrößen abgeleitet (zum Beispiel Drosselklappenstellung, Stellung einer VTG (Variable Turbinengeometrie)).

**[0006]** Der Begriff "Verbrennungsmotor" umfasst in diesem Zusammenhang das vollständige Verbrennungsmotorsystem mit all seinen Aggregaten, Hilfsaggregaten und Stellelementen.

**[0007]** Mit dieser Strategie kann sichergestellt werden, dass in festgelegten Geschwindigkeitsprofilen durch eine optimierte Zuordnung bestimmter Führungsgrößen die Emissionsobergrenzen nicht überschritten werden. Ein Beispiel für solche Geschwindigkeitsprofile sind normierte Fahrzyklen, zum Beispiel der NEFZ (neuer Europäischer Fahrzyklus), die zur Bestimmung der Abgas- und/oder Verbrauchswerte gefahren werden. Für solche Zyklen sind beispielsweise globale Optimierungsansätze bekannt, wie sie in Heiko Sequenz: Emission Modelling and Model-Based Optimisation of the Engine Control, D17 Darmstädter Dissertationen 2012 angegeben sind.

**[0008]** Im realen Fahrbetrieb treten nun beliebige, unterschiedliche Geschwindigkeitsprofile und Betriebszustände auf, die vor und während der Fahrt nicht bekannt sind. Da die einzelnen Betriebszustände auch unabhängig von der Motorsteuerung schon unterschiedliche Emissionswerte aufweisen, können die Verbrauchs- und Emissionswerte (l/100km bzw. mg/km) bei diesen beliebigen, unterschiedlichen Fahrprofilen teilweise erheblich nach unten oder oben abweichen. Eine globale Optimierung von bspw. Kraftstoffverbrauch oder CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Nichtüberschreiten von Emissionsgrenzen ist durch die bekannten Steuerungsverfahren somit nicht mehr gegeben.

**[0009]** Insbesondere bei konkurrierenden Emissionsgrößen, wie sie beispielsweise in einem Dieselmotor bei den Ruß(partikel)emissionen und den Stickoxidemissionen auftreten, können Situationen auftreten, bei denen beispielsweise in einem Geschwindigkeitsprofil die zulässigen Stickoxidemissionen überschritten werden und die zulässigen Rußemissionen deutlich unterschritten werden.

**[0010]** Steuerungsverfahren sollen also auch im realen Fahrbetrieb die Führungsgrößen - beispielsweise Abgasrückführungsrate (AGR-Rate), AGR-Aufteilung (Hochdruck/Niederdruck), Füllung, Raildruck etc. - optimiert einstellen aber auch die Nutzung von Abgasnachbehandlungssystemen wie beispielsweise Dieselpartikelfilter und SCR (selektive katalytische Reduktion) im Hinblick auf den Kraftstoff- und AdBlue-Verbrauch sowie die Emissionsgrößen verbessern.

**[0011]** Ein möglicher Ansatz wäre es, unter Berücksichtigung einer Betriebszustandsinformation, Emissionsobergrenzen und einer kumulierten Ist-Emissionsgröße eine Führungsgröße zu bestimmen (zum Beispiel AGR-Rate, AGR-Aufteilung, Füllung), die an den Verbrennungsmotor abgegeben wird.

**[0012]** Die Betriebszustandsinformationen könnten dabei zum Beispiel die Drehzahl, das aktuelle Drehmoment, das gewünschte Drehmoment, Temperaturen, die DPF-Beladung und andere Größen umfassen.

**[0013]** Die kumulierte Ist-Emissionsgröße umfasst die Summe aller in einem bestimmten Betriebszeitraum vom Verbrennungsmotor ausgestoßenen Emissionen.

**[0014]** Über die Führungsgröße(n) könnte dann wenigstens ein Betriebszustand des Verbrennungsmotors so eingestellt werden, dass mehrere Ist-Emissionsgrößen so beeinflusst würden, dass die kumulierten Ist-Emissionsgrößen in einem bestimmten Betriebszeitraum mit einer Zusammenstellung aus beliebigen, in zufälliger Reihenfolge eingestellten, unterschiedlichen Betriebszuständen des Verbrennungsmotors Emissionsobergrenzen für diesen Betriebszeitraum nicht überschritten würden (mg/km) und eine Zielfunktion so weit wie möglich reduziert würde.

**[0015]** Hier wird eine zu minimierende bzw. zu optimierende Größe als Zielfunktion bezeichnet (z.B. Kraftstoffverbrauch bzw. die davon abhängigen CO<sub>2</sub>-Emissionen, Regenerationsintervalle diverser Abgasnachbehandlungssysteme wie Rußpartikelfilter, AdBlue-Verbrauch, NOx Emissionen etc. oder eine Kombination solcher Größen).

**[0016]** Der Begriff "beliebige" Betriebszustände soll alle technisch sinnvollen Betriebszustände umfassen, die im sachgerechten Normalbetrieb eines Verbrennungsmotors auftreten können.

**[0017]** So ein Steuerungskonzept hätte den Vorteil, dass beispielsweise eine unkritische Ist-Emissionsgröße durch

eine Veränderung der Führungsgröße so weit erhöht würde, dass eine kritische Ist-Emissionsgröße so weit verringert würde, dass sichergestellt wäre, dass das Emissionsgrenzniveau (Emissionsgrenzwert) einer Emissionsgröße für die kritische Emissionsgröße in einem bestimmten Betriebszeitraum nicht überschritten würde.

**[0018]** Dabei könnten eine oder mehrere Führungsgröße(n) durch eine Indifferenzkurve aus pareto-optimalen Alternativen - von bspw. Einspritzmenge, Ist-Emissionen und/oder AdBlue-Dosierung - ausgewählt werden. Dies geschieht nach einer Heuristik, die die Abstände der kumulierten Ist-Emissionen zu ihrem Grenzniveau berücksichtigt. Die Führungsgröße wird also bei diesem Verfahren dynamisch und situationsbedingt bestimmt bzw. adaptiert.

**[0019]** So ein Ansatz wäre jedoch auf die Betrachtung bereits zurückliegender Betriebszustände reduziert.

**[0020]** Aus dem Hybridfahrzeugbetrieb Ansätze sind bekannt, bei denen die Drehmoment- bzw. Leistungsaufteilung zwischen Verbrennungsmotor und Elektromotor unter Berücksichtigung zu erwartender Fahrzustände optimiert wird. Lin et al. "A stochastic control strategy for hybrid electric vehicles", legt beispielsweise ein stochastisches, dynamisches Programmierungsverfahren vor, bei dem eine Antriebsmanagementstrategie für eine Gruppe zufälliger Fahrzyklen optimiert und in Echtzeit implementiert wird. So eine dynamische Programmierung ist zwar global optimal, erfordert aber unter Umständen einen sehr hohen Rechenaufwand, so dass solche Steuerungsverfahren in typischen Fahrzeugsteuerverfahren mit beschränkter Rechenkapazität unter Umständen nur eingeschränkt anwendbar sind.

**[0021]** Es besteht also die Aufgabe, ein Steuerungsverfahren für einen Verbrennungsmotor in einem Fahrzeug bereitzustellen, bei dem auf einfache und effiziente Weise eine aktuelle Führungsgröße bestimmt wird, bei der auch erwartete zukünftige Fahrzustände berücksichtigt werden können.

**[0022]** Diese Aufgabe wird durch das erfindungsgemäße Steuerungsverfahren nach Anspruch 1, einem Steuergerät nach Anspruch 12 und einem Verbrennungsmotor nach Anspruch 13 sowie einem Fahrzeug nach Anspruch 14 gelöst.

**[0023]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der folgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung.

**[0024]** Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass eine Zielfunktion minimiert wird, indem bei der Bestimmung der Führungsgröße eine Differenz zwischen einer Emissionsobergrenze und einer kumulierten Ist-Emissionsgröße berücksichtigt wird. Dabei wird eine Zielfunktion (z.B. eine Emissionsgröße wie der CO<sub>2</sub>-Ausstoß, der NO<sub>x</sub>-Ausstoß und/oder der Ruß- bzw. Partikelausstoß) minimiert, indem die Führungsgröße mittels einer aus der Differenz bestimmten Indifferenzkurve aus pareto-optimalen Alternativen ausgewählt wird. Zur Bestimmung dieser Differenz wird dabei zusätzlich eine Prädiktionsinformation berücksichtigt.

**[0025]** Das Verfahren bestimmt also die gewünschten Führungsgrößen wie zum Beispiel Abgasrückführungsrate (AGR-Rate), Ladedruck/Füllung, AdBlue-Dosierung oder auch die Drehmoment- bzw. Leistungsaufteilung in Hybridfahrzeugen zwischen Elektro- und Verbrennungsmotor in Abhängigkeit von bisherigen Emissionen (Vergangenheitsbetrachtung) und prädizierten Emissionen (Prädiktionsinformation), die in die Differenzbetrachtung einfließen. Das Verfahren beruht also auf einer rechnerisch einfach zu bewältigenden Differenzbetrachtung, bei der sowohl kumulierte Ist-Emissionsgrößen betrachtet werden als auch Prädiktionsinformationen.

**[0026]** Dabei werden prädizierte Emissionen für erwartete Betriebszustände ermittelt, abgeschätzt oder auch aus hinterlegten Daten abgeleitet. Dazu können beispielsweise Streckenvorausschauinformationen für eine geplante Fahrroute dienen, die beispielsweise Informationen zum Höhenprofil, zu Geschwindigkeitsbegrenzungen, zu Verkehrs- und Ampelinformationen, sowie Informationen zu Umgebungstemperaturen oder Luftdruckbedingungen dienen.

**[0027]** Dabei gibt es Ausführungen, bei denen die Prädiktionsinformationen Informationen zu einer Fahrstrecke (z.B. die Länge der Fahrstrecke) umfassen, die dann mit einem fahrstreckenbezogenen Emissionsgrenzwert multipliziert werden.

**[0028]** Es gibt auch Ausführungen, bei denen die Betriebszustandsprognoseinformation wenigstens eine Information aus der folgenden Gruppe umfasst: Fahrstreckenqualität, Fahrstreckenlänge und Umweltbedingungen. Über die Fahrstreckenqualität (bspw. Steigungen), die Fahrstreckenlänge und Umweltbedingungen (z.B. die Höhe über Meeresspiegel) lassen sich wesentliche Betriebszustandsinformationen (Drehmoment, Drehzahl) und der Leistungsbedarf einer Verbrennungskraftmaschine bestimmen.

**[0029]** Es gibt eine Ausführung, bei welcher die Prädiktionsinformation weiterhin alternativ oder zusätzlich eine Emissions-Prognosegröße umfasst. Damit ist es möglich, bei der Differenzbetrachtung sowohl den zulässigen Emissionsgrenzwert - einschließlich einer prädizierten Komponente - als auch die tatsächliche und erwartete Emission zu betrachten. So ist es möglich, die kritische Differenz zwischen diesem Grenzwert und den erwarteten Emissionen vergangenheits- und zukunftsorientiert zu analysieren und zur Bestimmung der Indifferenzkurve heranzuziehen.

**[0030]** Dabei gibt es Ausführungen, bei denen die Betriebszustandsinformation wenigstens eine Drehzahl (n) und ein Soll-Drehmoment (M) umfasst.

**[0031]** Bei einer Ausführung umfassen die Ist-Emissionsgrößen (Zielfunktionen) wenigstens zwei der folgenden Größen. Zu den Größen gehören NO<sub>x</sub>-Ausstoß, HC-Ausstoß, CO-Ausstoß, CO<sub>2</sub>-Ausstoß, kombinierter HC- und NO<sub>x</sub>-Ausstoß, Rußpartikelanzahl, Rußpartikelmasse, Beladungszustand eines Dieselpartikelfilters und/oder eines NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators.

**[0032]** In einer anderen Ausführung umfasst die Führungsgröße wenigstens eine der folgenden Größen, die sich auf

das Emissionsverhalten auswirken, nämlich AGR-Rate, AGR-Aufteilung, Füllung, Zündzeitpunkt. Die daraus abgeleiteten Stellgrößen umfassen dabei eine der folgenden Größen, über die bei modernen Motoren die gewünschte Führungsgröße bewirkt werden kann, nämlich Drosselklappenstellung; Einstellung der variablen Turbinengeometrie, Einspritzzeitpunkt, Nockenwellenverstellung.

5 **[0033]** In einer anderen Ausführung werden zwei Ist-Emissionsgrößen betrachtet, und zwar insbesondere der Stickoxidausstoß und der Rußausstoß, die bei Dieselmotoren konkurrierend zusammenhängen.

**[0034]** Es gibt auch Ausführungen, bei denen der CO<sub>2</sub>-Ausstoß und der NO<sub>x</sub>-Ausstoß konkurrierend optimiert werden.

**[0035]** Es gibt auch Ausführungen, bei denen der CO<sub>2</sub>-Ausstoß, der NO<sub>x</sub>-Ausstoß und der Rußausstoß, also drei Ist-Emissionsgrößen, konkurrierend optimiert werden.

10 **[0036]** Mit Hilfe eines Verbrennungsmotors mit einem erfindungsgemäßen Steuergerät, lassen sich verbesserte Verbrauchswerte und Emissionswerte realisieren. So ein Verbrennungsmotor ist besonders für Fahrzeuge geeignet.

**[0037]** Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nun beispielhaft und unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung beschrieben. Darin zeigt:

15 Fig. 1 schematisch ein Motorsystem mit einem erfindungsgemäßen Steuergerät;

Fig. 2 ein schematisches Fahrzeuglayout mit einem erfindungsgemäßen Steuergerät;

20 Fig. 3 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Steuerverfahrens mit wesentlichen Input- und Output-Größen;

Fig. 4 ein Diagramm, in dem Ruß- und NO<sub>x</sub>-Emissionen in Abhängigkeit der AGR-Rate dargestellt sind;

25 Fig. 5 pareto-optimale Arbeitspunkte, für die eine bestimmte Rußemission und eine bestimmte NO<sub>x</sub>-Emission gilt;

Fig. 6 Auswahl einer Führungsgröße durch eine Indifferenzkurve basierend auf dem Zusammenhang von Rußemissionen und NO<sub>x</sub>-Emissionen bei einer bestimmten (erhöhten) kumulierten NO<sub>x</sub>-Emission;

30 Fig. 7 die in Fig. 6 dargestellte Auswahl für eine niedrigere kumulierte NO<sub>x</sub>-Emission;

Fig. 8 die in Fig. 6 dargestellte Auswahl für eine überhöhte kumulierte NO<sub>x</sub>-Emission;

Fig. 9 die in Fig. 6 dargestellte Auswahl basierend auf dem Zusammenhang von CO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen;

35 Fig. 10 die in Fig. 6 dargestellte Auswahl durch eine nichtlineare Indifferenzkurve;

Fig. 11 eine Darstellung verschiedener Emissionsgrößen über einen Verlauf

40 Fig. 12 den Verlauf einer Kennlinie zur Bestimmung einer Indifferenzkurve

Fig. 12A-C unterschiedliche Indifferenzkurven, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren bestimmt sind.

45 **[0038]** In Fig. 1 ist ein Motorschema dargestellt, welches über ein erfindungsgemäßes Steuergerät 1 geregelt bzw. gesteuert wird. Dargestellt ist ein als Hubkolbenmotor 2 (Diesel- oder Otto-Motor), ausgebildeter Verbrennungsmotor, der über Ventile 3 und über einen Ladeluftstrang 4 befüllt wird und über einen Abgasstrang 5 entleert wird. Die Zuluft gelangt durch einen Luftfilter 6 und einen Abgasturbolader 7 mit verstellbarer Turbinengeometrie durch einen Zwischenkühler 8 über ein Einlassventil 3 in den Zylinder 9, wo gegebenenfalls über ein Einspritzsystem Kraftstoff zugeführt wird. Nach der Verdichtung und Verbrennung des Luft-Kraftstoffgemischs wird das entstandene Abgas durch ein Auslassventil 3 über den Abgasstrang abgeführt.

**[0039]** Das verdichtete Abgas passiert dabei den Abgasturbolader 7, treibt diesen an und verdichtet so die Ladeluft. Anschließend passiert es einen Stickstoffspeicherkatalysator 10 sowie einen Dieselpartikelfilter 11 und gelangt schließlich durch eine Abgasklappe 12 in den Auspuff 13.

50 **[0040]** Die Ventile 3 werden über eine verstellbare Nockenwelle 14 angetrieben. Die Verstellung erfolgt über eine Nockenwellenverstelleinrichtung 15, die vom Steuergerät 1 ansteuerbar ist.

**[0041]** Ein Teil des Abgases kann über ein Hochdruck-Abgasrückführventil 16 in den Ladeluftstrang 4 eingeleitet werden. Ein abgasbehandelter Teilstrom kann im Niederdruckbereich nach dem Abgasturbolader 7 über eine entsprechende Abgaskühlung 17 und ein Abgasrückführungs-Niederdruckventil 18 in den Ladeluftstrang 4 geführt werden. Die

Turbinengeometrie des Abgasturboladers 7 ist über eine Stelleinrichtung 19 einstellbar. Die Ladeluftzufuhr ("Gas") wird über die Hauptdrosselklappe 20 geregelt.

[0042] Über das Steuergerät 1 sind u.a. das Abgasrückführungs-Niederdruckventil 18, die Stelleinrichtung 19, die Hauptdrosselklappe 20, das Abgasrückführungs-Hochdruckventil 16, die Nockenwellenverstelleinrichtung 15 sowie die Abgasklappe 12 ansteuerbar (durchgezogene Linien).

[0043] Weiterhin wird das Steuergerät 1 über Sensoren und Sollwertgeber beispielsweise mit Temperaturinformationen (Zwischenkühler 8, Abgaskühlung 17) und mit Ist-Emissionswerten (z.B. aus einem Sensor oder physikalischen/empirischen Modell) versorgt.

[0044] Dazu können noch weitere Betriebszustandsinformationen kommen wie: Fahrpedalstellung, Drosselklappenstellung, Luftmasse, Batteriespannung, Motortemperatur, Kurbelwellendrehzahl und oberer Totpunkt, Getriebestufe, Fahrzeuggeschwindigkeit.

[0045] Es besteht also ein komplexes Steuer- und Regelsystem, welches den Motorbetrieb in unterschiedlichsten Betriebszuständen hinsichtlich unterschiedlicher Zielgrößen einstellen, regeln und möglichst optimieren soll.

[0046] Figur 2 zeigt ein schematisch dargestelltes Fahrzeug 200, in dem der Hubkolbenmotor 2 mit dem Abgasstrang 5 angeordnet ist und der über eine Kupplung 24 mit einem Antriebsstrang 25 verbunden ist.

[0047] Optional oder alternativ ist das Fahrzeug mit einem elektrischen Antrieb 23 versehen, der über die Kupplung 24 mit dem Hubkolbenmotor 2 bzw. dem Getriebe 2a und dem Antriebsstrang 25 gekoppelt ist. Der elektrische Antrieb 23 ist bspw. als permanentmagneterregte Synchronmaschine ausgebildet, die über einen elektrischen Energiespeicher 21 (und einen Umrichter 22) mit Energie versorgt wird. Das Steuergerät 1 ist über entsprechende Signalleitungen (nicht dargestellt) ebenfalls mit den elektrischen Antriebseinheiten (21, 22, 23) gekoppelt.

[0048] Die nachfolgenden Ausführungsbeispiele beziehen sich auf die Steuerung und Regelung von Emissionswerten in Abhängigkeit von vorgegebenen Emissionsobergrenzen und kumulierten Ist-Werten.

[0049] Ein Grundsystem für die Durchführung eines solchen Verfahrens ist in Fig. 2 dargestellt. Dabei bestimmt das Steuergerät 1 eine oder mehrere zur Beeinflussung der Emissionen erforderliche und wirksame Führungsgrößen  $x(t)$ .

[0050] Als Eingangsgrößen dienen der Fahrerwunsch FW, der bspw. über die Stellung eines Gaspedals und/oder eines Bremspedals abgeleitet wird, sowie weitere Betriebsbedingungen SB des Fahrzeugs 200 bzw. des Motors 2. Weiterhin werden die Emissionsgrenzwerte  $EM^G$  berücksichtigt, die während des Betriebs nicht überschritten werden dürfen und schließlich dient eine Prädiktionsinformation PI dazu, zukünftige Betriebszustände zu berücksichtigen. Typische Prädiktionsinformationen PI sind z.B. eine Emissionsprognose  $EM^P$  oder Betriebszustandsprognoseinformationen, die bspw. bei einem Fahrzeug Informationen über die Fahrstreckenlänge  $s(t)$ , die Fahrstreckenqualität und erwartete Umweltbedingungen während des Betriebes umfassen.

[0051] Daraus werden Führungsgrößen  $x(t)$  (z.B. AGR-Rate, AGR-Aufteilung, Füllung, Zündzeitpunkt) abgeleitet und Stellgrößen bestimmt, die im Verbrennungsmotor 2 bzw. dessen Komponenten (zum Beispiel Stellung der Hauptdrosselklappe 20, Nockenwelleneinstellung, Einstellung der Turbinengeometrie des Abgasturboladers 7, Einstellung der Abgasklappe 12, etc.) die Emissionen (zum Beispiel  $NO_x$ , HC, CO, Ruß) des Verbrennungsmotors beeinflussen. Diese werden als Massenströme (Emissionsraten)  $EM^{DS}$  erfasst (zum Beispiel Masse pro Zeit [mg/s]). Aus diesen Emissionen werden kumulierte Ist-Werte  $EM^K$  der Emissionen abgeleitet (Integration der Emissionsraten über die Zeit).

[0052] Aus diesen kumulierten Ist-Werten  $EM^K$  werden im Steuergerät 1 zusammen mit der verstrichenen Betriebszeit  $t$  bzw. der zurückgelegten Strecke  $s$ , bekannten bzw. vorgegebenen Emissionsobergrenzen  $EM^G$  und Informationen über den Fahrerwunsch FW (z.B. Beschleunigung:  $a^{Soll}$ ; Drehmoment:  $M^{Soll}$ ) und sonstige Betriebsbedingungen SB (z.B. Geschwindigkeit:  $v$ ; Drehzahl:  $n$ ) des Verbrennungsmotors 2 die Führungsgröße(n)  $x(t)$  bestimmt.

[0053] Fig.4 zeigt beispielhaft den Zusammenhang zwischen  $NO_x$ -Emissionen und Rußemissionen in Abhängigkeit von der Abgasrückführrate (AGR), die hier eine Führungsgröße  $x(t)$  bildet. Das Diagramm zeigt, dass durch Erhöhung der AGR die  $NO_x$ -Emissionen zwar gesenkt werden können, dabei aber die Rußemissionen ansteigen.

[0054] Fig. 5 zeigt ein Diagramm mit Zielgrößenkombinationen von bestimmten Rußemissionen, die über bestimmte  $NO_x$ -Emissionen aufgetragen sind. Besteht nun z.B. die Aufgabe, in einem (beliebigen) Betriebszustand die Rußemissionen zu minimieren/zu senken, dabei aber einen (kumulierten)  $NO_x$ -Grenzwert einzuhalten, muss die Emissionshistorie (kumulierte Ist-Werte  $EM^G$ ) für zurückliegende (ggf. beliebige, in zufälliger Reihenfolge eingestellte, unterschiedliche Betriebszustände) berücksichtigt werden.

[0055] Pareto-optimale Zielgrößenkombinationen, bei denen der Ruß-Ausstoß nur weiter gesenkt werden kann, wenn die  $NO_x$ -Emission erhöht wird, sind durch die Punkte  $x$  gekennzeichnet. Alle pareto-optimalen Zielgrößenkombinationen bilden die sogenannte Paretofront, welche die Punkte  $x$  miteinander verbindet. Bei einem Minimierungsproblem sind Punkte links unterhalb der Pareto-Front (schraffierter Bereich) nicht realisierbar und alle rechts oberhalb vorgesehenen Zielgrößenkombinationen nicht pareto-optimal, da es jeweils Kombinationen (Punkte  $x$ ) gibt, die sowohl hinsichtlich Ruß-Emission als auch der  $NO_x$ -Emission günstiger auf der Paretofront realisiert werden können.

[0056] Die Auswahl aus pareto-optimalen Zielgrößenkombinationen von zwei Zielgrößen ( $NO_x$ -Emissionen und Rußemissionen) zeigt die Darstellung in Fig. 6. In der rechten Säule ist als Emissionsobergrenze  $EM^G$  ein  $NO_x$ -Grenzwert  $NO_x-G$  (gestrichelte Linie) angegeben und die darunter dargestellte Säule zeigt im schraffierten Bereich als kumulierten

Ist-Wert  $EM^K$  die bisherigen kumulierten  $NO_x$ -Emissionen  $NO_x-K_1$ . Da die kumulierten  $NO_x$ -Emissionen  $NO_x-K_1$  bereits relativ nah am  $NO_x$ -Grenzwert  $NO_x-G$  sind, ist hier ein relativ hohes Austauschverhältnis zwischen den Zielgrößen Rußemissionen und  $NO_x$ -Emissionen gewählt (erhöhte Rußemissionen, zugunsten von geringen  $NO_x$ ), um den  $NO_x$ -Grenzwert  $NO_x-G$  nicht zu überschreiten. Diese hier gewünschte Austauschrate wird durch die Indifferenzkurve I angegeben, die hier relativ steil abfallend dargestellt ist, und dann an die nächstliegende Zielgrößenkombination verschoben wird, in dem für diesen Betriebspunkt eine bestimmte Rußemission und eine bestimmte  $NO_x$ -Emission realisierbar ist. Dieser Zielgrößenkombination wird dann mit Hilfe der im Diagramm aus Fig. 4 bekannten Informationen eine AGR als geeignete pareto-optimierte Führungsgröße  $x(t)$  zugeordnet.

**[0057]** Fig. 7 zeigt ein Beispiel, bei dem die kumulierten  $NO_x$ -Emissionen ( $NO_x-K_2$ ) weiter unter dem  $NO_x$ -Grenzwert  $NO_x-G$  liegen. Hier ist das Austauschverhältnis der Indifferenzkurve I kleiner (die Gerade fällt flacher ab). Hier kann also eine höhere  $NO_x$ -Emission in Kauf genommen werden, ohne dass Gefahr bestünde, dass der  $NO_x$ -Grenzwert  $NO_x-G$  überschritten wird. Damit kann die Rußemission geringer gehalten werden. Die flacher verlaufende Gerade wird an die nächste Zielgrößenkombination verschoben, an dem eine bestimmte  $NO_x$ -Emission und eine entsprechende Rußemission mit einer zugehörigen Führungsgröße  $x(t)$  (hier die entsprechende AGR aus Fig.3) realisierbar ist.

**[0058]** Fig. 8 zeigt ein Beispiel, bei dem die kumulierten  $NO_x$ -Emissionen ( $NO_x-K_3$ ) den  $NO_x$ -Grenzwert  $NO_x-G$  überschritten haben. Hier ist das Austauschverhältnis der Geraden I (senkrechte Indifferenzkurve) quasi unendlich. Ungeachtet der Höhe der Rußemissionen wird die Führungsgröße  $x(t)$  für minimale  $NO_x$ -Emission ausgewählt.

**[0059]** Fig. 9 zeigt analog zu Fig. 5 ein Beispiel, bei dem in Abhängigkeit der kumulierten  $NO_x$ -Emissionen  $CO_2$  minimiert werden soll.

**[0060]** Fig. 10 zeigt analog zu Fig. 5 ein Beispiel, bei dem die Indifferenzkurve nicht linear verläuft.

**[0061]** Die Figuren 11 bis 12C zeigen beispielhaft anhand der kombinierten Emissionsbetrachtung des  $CO_2$ -Ausstoßes und des  $NO_x$ -Ausstoßes die Bestimmung der Indifferenzkurven I (Fig. 12A-C), die an unterschiedliche Paretofronten f angelegt werden, um optimierte Betriebspunkte hinsichtlich der  $CO_2$ -Emissionen  $\dot{m}_{CO_2}$  und der  $NO_x$ -Emissionen  $\dot{m}_{NO_x}$  zu ermitteln und daraus in bekannter Weise die entsprechende(n) Führungsgröße(n) abzuleiten.

**[0062]** Die Grundlage bildet die in Figur 12 dargestellte Größe  $\beta$ , die abhängig von einer Differenz  $\delta$  bestimmt wird und mit der Steigung der Indifferenzkurven I korrespondiert.  $\varphi(\beta)$  bezeichnet hier den Winkel, mit der die Indifferenzkurve I die  $\dot{m}_{NO_x}$ -Achse (Abszisse) schneidet.

**[0063]**  $\delta$  ergibt sich gemäß Figur 11 aus der Differenz eines zeit- (bzw. strecken-)abhängigen Grenzwertverlaufs  $EM^G$  über die Zeit t (gestrichelte Funktion). Der eigentliche Grenzwert  $EM^G$  wird dabei bspw. in mg/km also einer Masseneinheit pro Strecke angegeben und wächst also mit zunehmender Zeit bzw. zurückgelegter Strecke s. Daneben wird der Verlauf der kumulierten Emissionswerte  $EM^K$  (z.B. eine  $NO_x$  Menge  $m_{NO_x}$  aufgezeichnet (durchgezogene Linie) und aus beiden wird die Differenz  $\delta$  gebildet (gepunktete Linie). Es gilt die Beziehung gemäß Formel 1:

$$(1) \delta(t) = \max(0, EM_{NO_x}^G \cdot (s(t) + \tilde{s}(t)) - (m_{NO_x}(t) + \tilde{m}_{NO_x}(t)))$$

**[0064]** Demnach ergibt sich das zeit- bzw. streckenabhängige  $\delta$  aus der Emissionsobergrenze  $EM^G$ , für  $NO_x$  die mit einem Streckenwert s multipliziert wird, der sich aus einer bisherigen, also bereits abgefahrenen Strecke  $s(t)$  und einer prognostizierten Strecke  $\tilde{s}(t)$  ergibt. In den Verlauf der Emissionsobergrenze fließt also sowohl eine auf Ist-Größen beruhende Information (bisherige Strecke) und eine auf prognostizierten Informationen beruhender Streckenverlauf ein.

**[0065]** Von diesem strecken- bzw. zeitabhängigen Grenzwert wird dann die tatsächliche, kumulierte Emission  $EM^K$  (hier  $m_{NO_x}(t)$ ) und eine zukünftige, prognostizierte Emission  $EM^P$  (hier  $\tilde{m}_{NO_x}(t)$ ) abgezogen. Die Prädiktion ist bis zu einem Prädiktionshorizont  $t = T$  möglich.

**[0066]** Zu einem Zeitpunkt  $t = t_1$  zeigen die Kurven in einer rückschauenden Betrachtung (Pfeil V nach links) die bisherigen Verläufe der Komponenten  $EM^G$   $s(t)$  und  $m_{NO_x}(t)$ , wobei eine vorausschauende Betrachtung (Pfeil Z nach rechts) zusätzlich die Prädiktionsskomponenten  $EM^G$   $\tilde{s}(t)$  und  $\tilde{m}_{NO_x}(t)$  berücksichtigt.

**[0067]** Zum Zeitpunkt  $t = t_1$  gilt dann:

$$\delta(t_1) = \max(0, EM_{NO_x}^G \cdot (s(t_1) + \tilde{s}(t_1)) - (m_{NO_x}(t_1) + \tilde{m}_{NO_x}(t_1)))$$

mit der abgefahrenen Strecke:

$$s(t_1) = \int_0^{t_1} v(\tau) d\tau$$

der prognostizierten Strecke:

$$\tilde{s}(t_1) = \int_{t_1}^T \tilde{v}(\tau) d\tau$$

dem kumulierten (bisher realisierten) Emissionswert  $EM^K$ , hier:

$$m_{NOx}(t_1) = \int_0^{t_1} \dot{m}_{NOx}(\tau) d\tau$$

und dem prognostizierten Emissionswert  $EM^P$ , hier:

$$\tilde{m}_{NOx}(t_1) = \int_{t_1}^T \tilde{\dot{m}}_{NOx}(\tau) d\tau$$

wobei  $\tilde{v}$  die Prädiktion eines zukünftigen Geschwindigkeitsverlaufs ist und  $\tilde{\dot{m}}_{NOx}$  der damit korrespondierende prognostizierte Verlauf eines NOx-Massenstroms.

**[0068]** Aus einem sich so ergebenden  $\delta$ -Wert (z.B.  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  oder  $\delta_3$ ) wird dann mittels einer Kennlinie, die in Figur 12 dargestellt ist, ein  $\beta$ -Wert abgeleitet, der zur Steigung einer Indifferenzkurve I korrespondiert, die zur Ermittlung eines paretooptimalen Betriebspunktes und damit zur gewünschten Führungsgröße führt. Paretofronten  $f_1$ ,  $f_2$  für unterschiedliche Betriebszustände ( $u_{f1}$  und  $u_{f2}$ ) sind in den Fig. 12A bis 12C dargestellt. Für die Kennlinie, die zur Ermittlung des  $\beta$ -Wertes führt, soll gelten, dass

$$\lim_{\delta \rightarrow 0^+} \beta(\delta) = \infty$$

**[0069]** Gleichzeitig soll hier auch gelten, dass die Funktion streng monoton fallend ist, so dass bei zunehmenden  $\delta$ ,  $\beta$  stetig abnimmt, wie dies in der Funktion in Fig. 13 beispielhaft dargestellt ist.

**[0070]** In den Figuren 12A, 12B und 12C sind jeweils zwei Kurven (die Paretofronten  $f_1$  und  $f_2$ ) eingezeichnet, die jeweils paretooptimierte Emissionskombinationen für  $CO_2$  und NOx in unterschiedlichen Betriebszuständen zeigen.  $f_1$  kennzeichnet hier die Emissionskombinationen eines Betriebszustands mit niedrigerer Leistung und insgesamt auch eher niedrigeren Emissionswerten ( $\dot{m}_{CO_2}$  und  $\dot{m}_{NOx}$ ) und  $f_2$  kennzeichnet die Emissionskombinationen eines Betriebszustands mit höherer Leistung und damit auch mit eher höheren Emissionswerten ( $\dot{m}_{CO_2}$  und  $\dot{m}_{NOx}$ ).  $f_1$  und  $f_2$  bilden Emissionsparetofronten für unterschiedliche Betriebszustände.

**[0071]** Die gewünschte Führungsgröße  $x(t)$  für eine bestimmte Emissionskombination  $u_{f1}$  oder  $u_{f2}$ , wird durch Anlegen der Indifferenzkurve I ermittelt, deren Steigung mit dem  $\beta$ -Wert korrespondiert, der sich aus der Kennlinie in Figur 12 ergibt. Dieser so bestimmten Zielgrößenkombination  $u_{f1}$  oder  $u_{f2}$  (Emissionskombination) wird dann beispielsweise mit Hilfe einer bekannten Informationen eine AGR als geeignete pareto-optimierte Führungsgröße  $x(t)$  zugeordnet

**[0072]** (analog zum Diagramm aus Fig. 4). In Figur 4 ist der Zusammenhang zwischen NOx- und Rußemission in Verbindung mit der AGR-Rate angegeben. Aus anderen Diagrammen oder auch aus mehrdimensionalen Kennfeldern (mit Paretoflächen) sind die Zusammenhänge zwischen Führungsgröße  $x(t)$  und Emissionskombinationen aus zwei oder mehr Emissionsgrößen entnehmbar.

**[0073]** Figur 12A zeigt dabei ein  $\beta_1$ , Figur 12B ein  $\beta_2$  und Figur 12C ein  $\beta_3$ . Die unterschiedlichen  $\beta$ -Werte ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$  und  $\beta_3$ ) ergeben sich aus den korrespondierenden  $\delta$ -Werten mit Hilfe der Kennlinie in der Figur 12.

**[0074]** Verringert sich das  $\delta$  zwischen dem Emissionsgrenzwert und der kumulierten Emission von  $\delta_1$  zu  $\delta_2$ , so muss sich die Steigung der Indifferenzkurve erhöhen (die Indifferenzkurve I wird steiler), da Betriebspunkte bevorzugt werden sollen, bei denen wegen des geringeren Abstandes zum Emissionsgrenzwert für NOx-Emissionen solche Betriebspunkte bevorzugt werden, bei denen die NOx-Emission reduziert ist. Entsprechend ist in diesen Betriebspunkten der  $CO_2$ -Ausstoß erhöht (Figur 12B).

**[0075]** Umgekehrt sinkt bei einem zunehmenden  $\delta$  das  $\beta$  und damit auch die Steigung der Indifferenzkurve, deren Verlauf flacher wird, und es werden in der gewünschten Weise Betriebspunkte bevorzugt bei denen höhere NOx-Werte in Kauf genommen werden können und auf der anderen Seite die  $CO_2$ -Emission entsprechend reduziert wird (Figur 12C).

**[0076]** Mit dem dargestellten Ansatz lassen sich im Betrieb und in Abhängigkeit von sich ändernden Randbedingungen

die Emissionswerte (Zielfunktionen) verbessern. Neben den hier dargestellten Problemen, bei denen Emissionsgrößen paarweise berücksichtigt wurden, kann das Verfahren auch auf mehrdimensionale Probleme ausgedehnt werden. So ist es zum Beispiel möglich, pareto-optimierte Führungsgrößen  $x(t)$  für Mehrfach-Kombinationen (z.B. für  $\text{CO}_2$ -Ausstoß, Rußemission und  $\text{NO}_x$ -Emission) zu bestimmen. Es können auch in Ergänzung zur Führungsgröße AGR noch andere Führungsgrößen  $x(t)$  pareto-optimiert zur Regelung bestimmt werden (z.B. AGR-Aufteilung, Füllung, Zündzeitpunkt oder Raildruck).

### Bezugszeichenliste

10	[0077]	1	Steuergerät
		2	Hubkolbenmotor
		2a	Getriebe
		3	Ventile
		4	Ladeluftstrang
15		5	Abgasstrang
		6	Luftfilter
		7	Abgasturbolader
		8	Zwischenkühler
		9	Zylinder
20		10	$\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator
		11	Dieselpartikelfilter
		12	Abgasklappe
		13	Auspuff
		14	Nockenwelle
25		15	Nockenwellen-Verstelleinrichtung
		16	AGR-Hochdruckventil
		17	Abgaskühlung
		18	AGR-Niederdruckventil
		19	Stelleinrichtung
30		20	Hauptdrossel
		21	el. Energiespeicher
		22	Umrichter
		23	el. Antrieb
		24	Kupplung
35		25	Antriebsstrang
		200	Fahrzeug
		$x(t)$	Führungsgröße
		$\text{NO}_x\text{-G}$	Grenzwert
		$\text{NO}_x\text{-K}_1$	kumulierter Ist-Wert
40		FW	Fahrerwunsch
		SB	Sonstige Betriebsbedingungen
		$\text{EM}^G$	Emissionsgrenzwert
		$\text{EM}^K$	kumulierte Emissionswerte
45		$\text{EM}^{\text{DS}}$	Emissionsdurchsätze
		I	Indifferenzkurve
		PI	Prädiktionsinformation
		$\text{EM}^P$	Emissionsprognose
		$\delta(t)$	Differenzfunktion
50		$\beta$	Steigung
		$s(t)$	Betriebszustand-Prognoseinformation
		s	zurückgelegte Strecke
		t	Betriebszeit
		f	Paretofront
55		$\varphi(\beta)$	Winkel
		$s(t)$	prognostizierte Strecke
		$\tilde{v}$	Prädiktion eines zukünftigen Geschwindigkeitsverlaufs

$\tilde{m}_{NOx}$  prognostizierter Verlauf eines NOx-Massenstroms

$u_f$  Betriebszustand

V Vergangheitsbetrachtung

Z Zukunftsbetrachtung

## Patentansprüche

1. Steuerungsverfahren für einen Verbrennungsmotor (2) in einem Fahrzeug, umfassend:

Bestimmen einer Führungsgröße ( $x(t)$ ) unter Berücksichtigung

- einer Betriebszustandsinformation (FW, SB) und
- einer Differenz ( $\delta$ ) zwischen einer Emissionsobergrenze ( $EM^G$ ) und einer kumulierten Ist-Emissionsgröße ( $EM^K$ ),

Beeinflussen eines Betriebszustands des Verbrennungsmotors (2) mittels der Führungsgröße ( $x(t)$ ), so dass wenigstens zwei Ist-Emissionsgrößen so eingestellt werden, dass die entsprechenden kumulierten Ist-Emissionsgrößen in einem Betriebszeitraum mit einer Zusammenstellung aus beliebigen, in zufälliger Reihenfolge eingestellten, unterschiedlichen Betriebszuständen des Verbrennungsmotors (2) Emissionsobergrenzen ( $EM^G$ ) für diesen Betriebszeitraum nicht überschreiten, wobei eine Zielfunktion minimiert wird, indem die Führungsgröße ( $x(t)$ ) mittels einer aus der Differenz ( $\delta$ ) bestimmten Indifferenzkurve (I) aus pareto-optimalen Alternativen ausgewählt wird und zur Bestimmung der Differenz ( $\delta$ ) eine Prädiktionsinformation (PI) berücksichtigt wird.

2. Steuerungsverfahren nach Anspruch 1, wobei die Prädiktionsinformation (PI) eine Betriebszustands-Prognoseinformation ( $s(t)$ ) umfasst.

3. Steuerungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Betriebszustands-Prognoseinformation ( $s(t)$ ) wenigstens eine Information aus der folgenden Gruppe umfasst: Fahrstreckenqualität, Fahrstreckenlänge, Umweltbedingungen.

3. Steuerungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Prädiktionsinformation (PI) eine Emissions-Prognosegröße ( $EM^P$ ) umfasst.

4. Steuerungsverfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei die Indifferenzkurve (I) eine Gerade ist, deren Steigung ( $\beta(\delta)$ ) mittels einer Differenzfunktion ( $\delta(t)$ ) bestimmbar ist.

5. Steuerungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Zielfunktion eine Ist-Emissionsgröße ( $EM^{DS}$ ), einen Kraftstoffverbrauch und/oder eine  $CO_2$ -Emission umfasst.

6. Steuerungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Betriebszustandsinformation (SB, FW) eine Drehzahl ( $n(t)$ ) und ein Solldrehmoment ( $MSoll(t)$ ) umfasst.

7. Steuerungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Betriebszeitraum und die unterschiedlichen Betriebszustände einer Fahrt bekannt sind.

8. Steuerungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ist-Emissionsgrößen ( $EM^{DS}$ ) wenigstens zwei der folgenden Größen umfassen: NOx-Ausstoß, HC-Ausstoß, CO-Ausstoß,  $CO_2$ -Ausstoß, kombinierter HC- und NOx-Ausstoß, Rußpartikelanzahl, Rußpartikelmasse, AdBlue-Verbrauch.

9. Steuerungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Führungsgröße ( $x(t)$ ) wenigstens eine der folgenden Größen umfasst: AGR-Rate, AGR-Aufteilung, Füllung, Ladedruck, Einspritzzeitpunkt, Zündzeitpunkt, Raildruck.

10. Steuerungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens zwei Ist-Emissionsgrößen ( $EM^{DS}$ ), insbesondere  $CO_2$  Ausstoß und NOx-Ausstoß und/oder NOx-Ausstoß und Rußausstoß, betrachtet werden.

## EP 3 244 046 A1

**11.** Steuerungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens drei Ist-Emissionsgrößen ( $Em^{DS}$ ) aus der folgenden Gruppe betrachtet werden:  $CO_2$  Ausstoß,  $NO_x$ -Ausstoß und Rußausstoß.

5

**12.** Steuergerät (1) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11.

**13.** Verbrennungsmotor (2) mit einem Steuergerät (1) nach Anspruch 12.

**14.** Fahrzeug mit einem Verbrennungsmotor (2) nach Anspruch 13.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

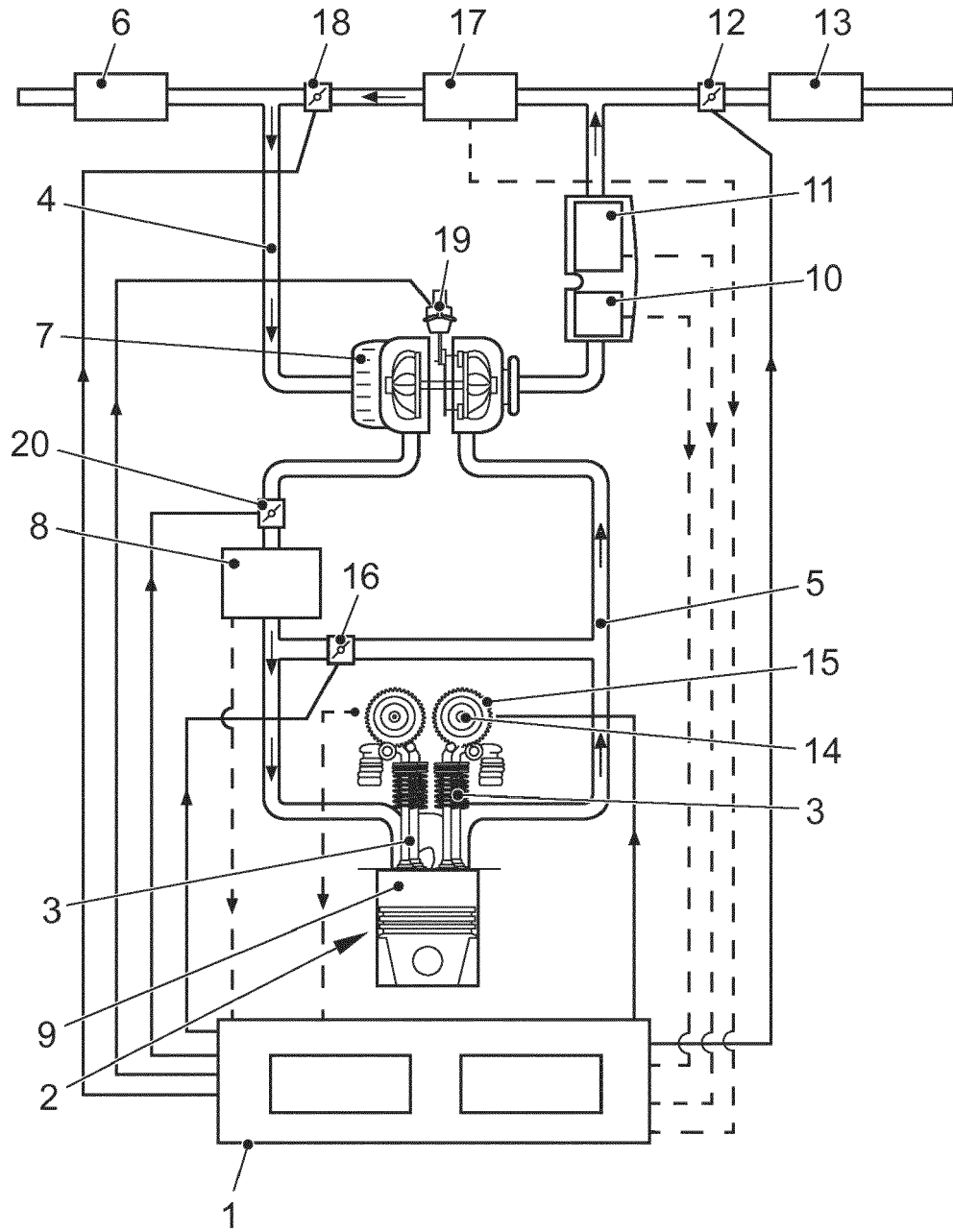


FIG. 1

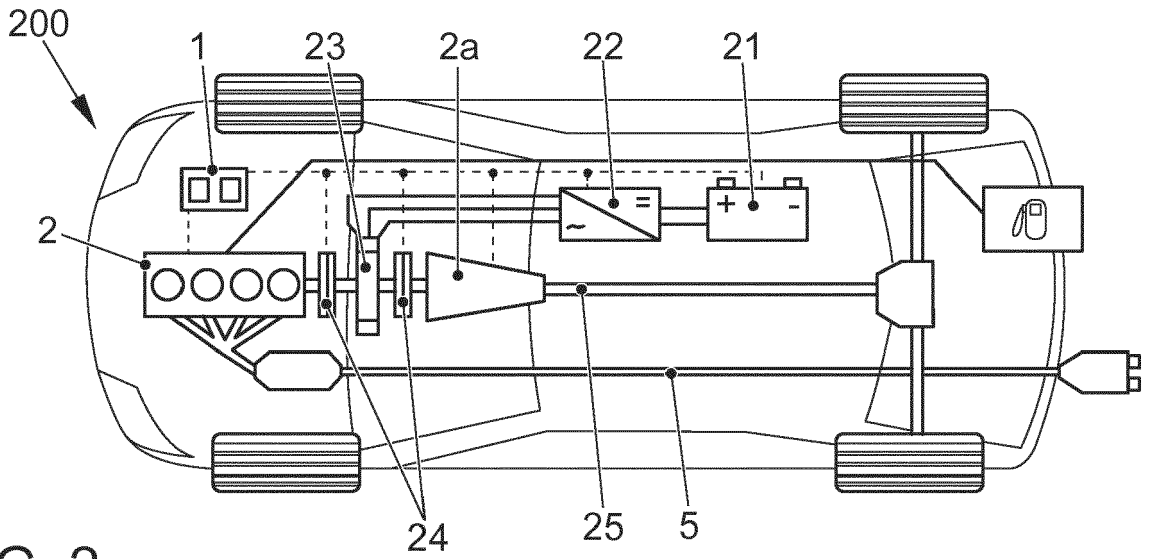


FIG. 2

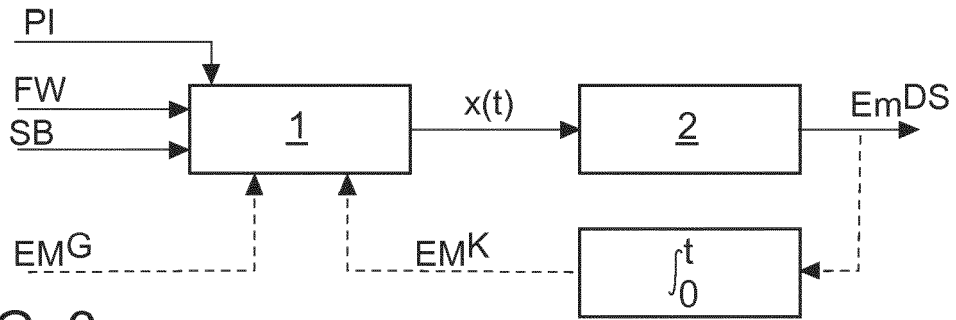


FIG. 3

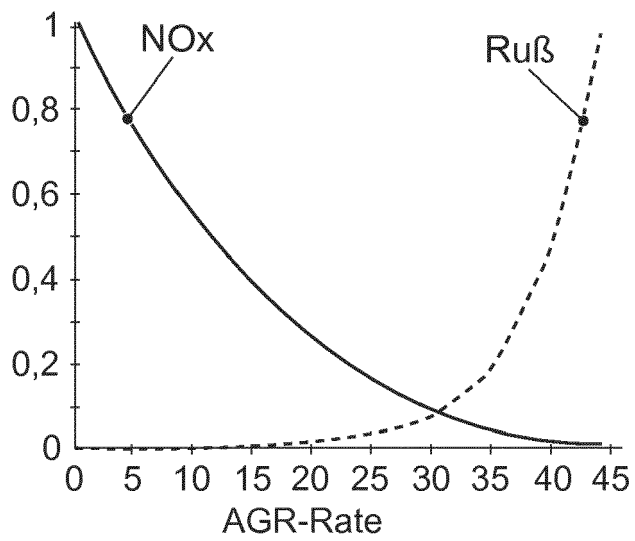


FIG. 4

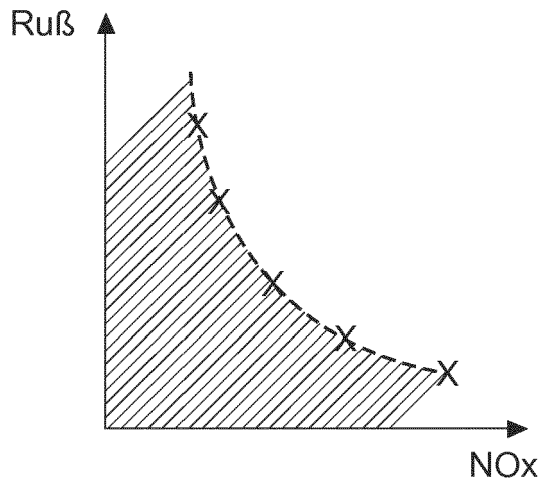


FIG. 5

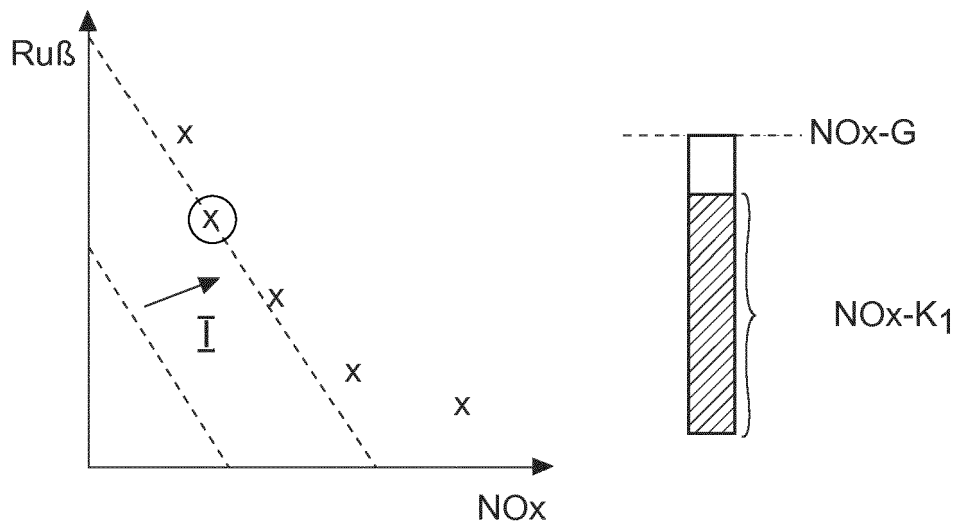


FIG. 6

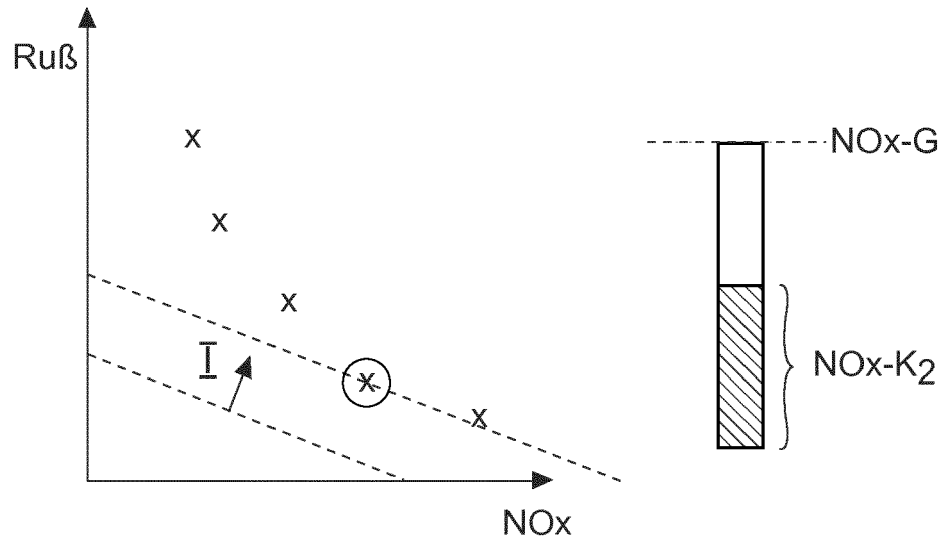


FIG. 7

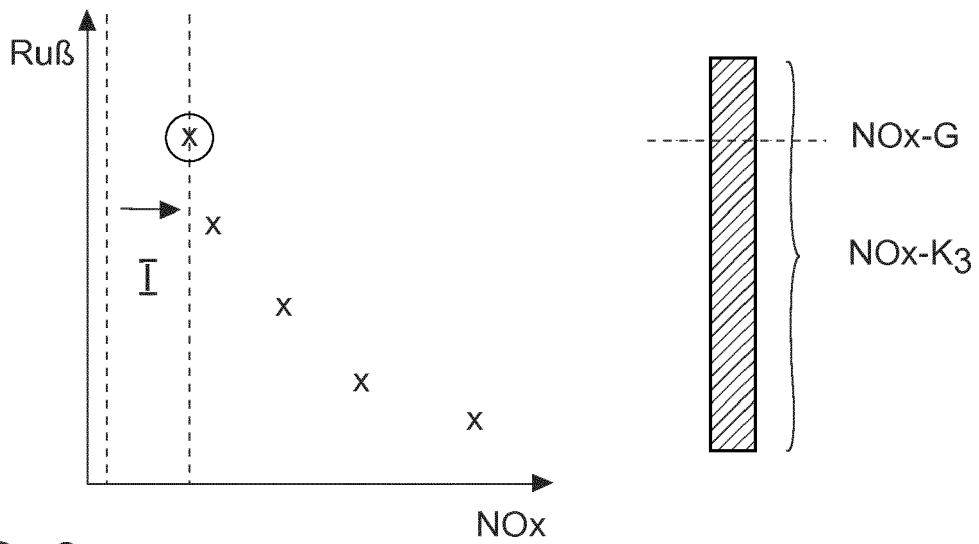


FIG. 8

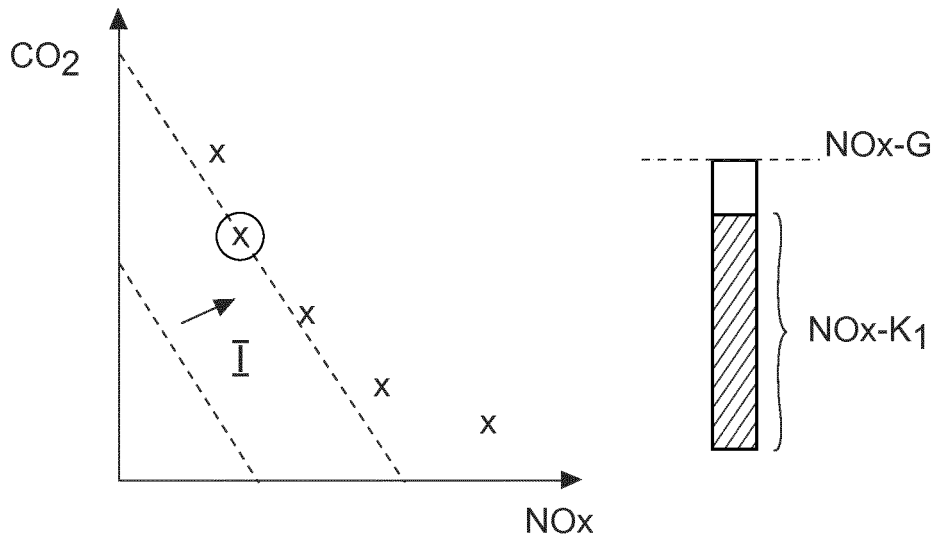


FIG. 9

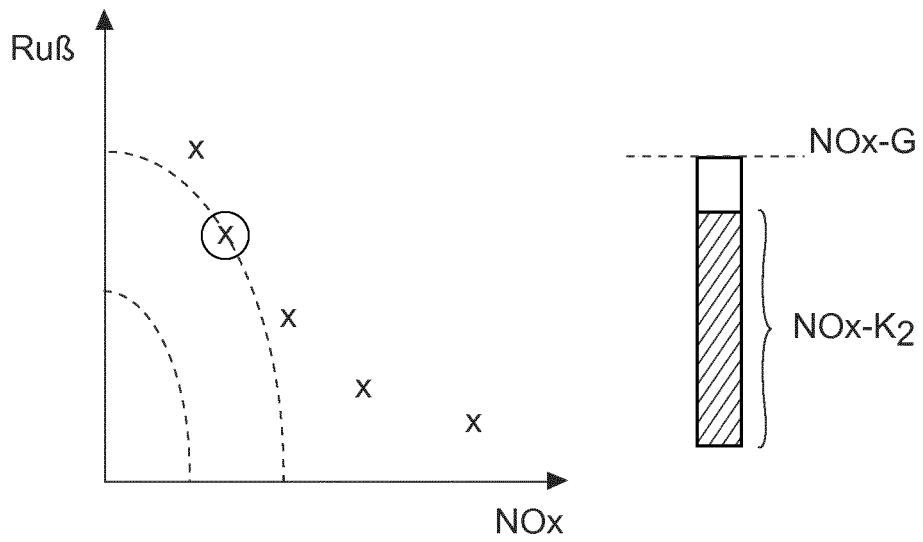


FIG. 10

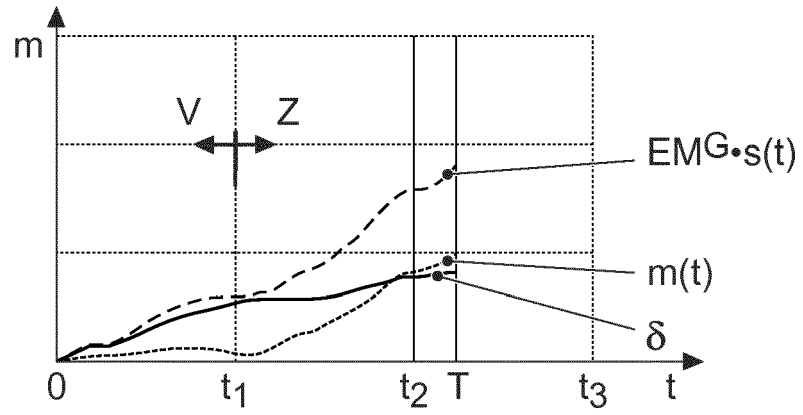


FIG. 11

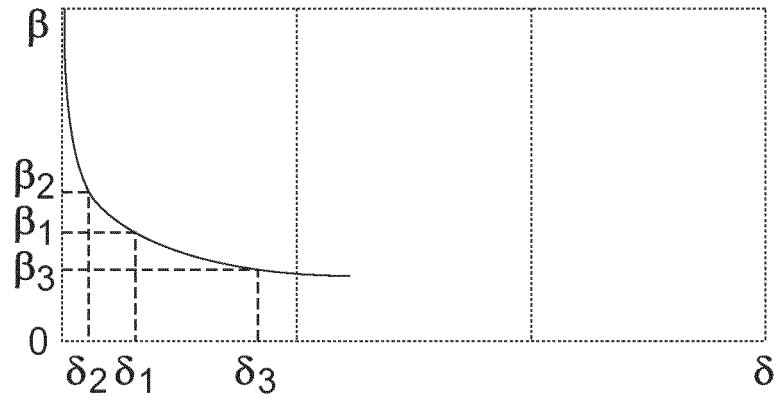


FIG. 12

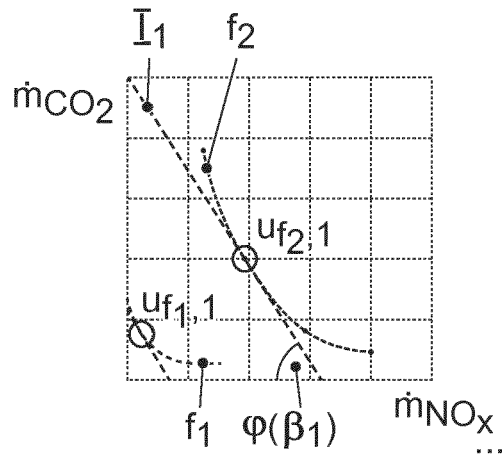


FIG. 12A

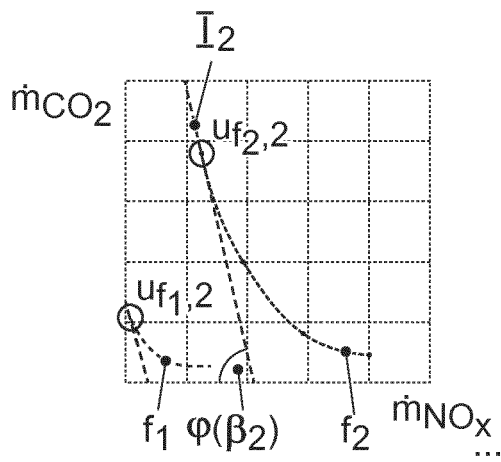


FIG. 12B

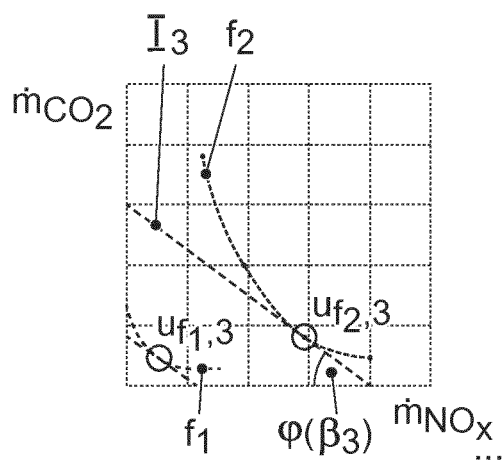


FIG. 12C

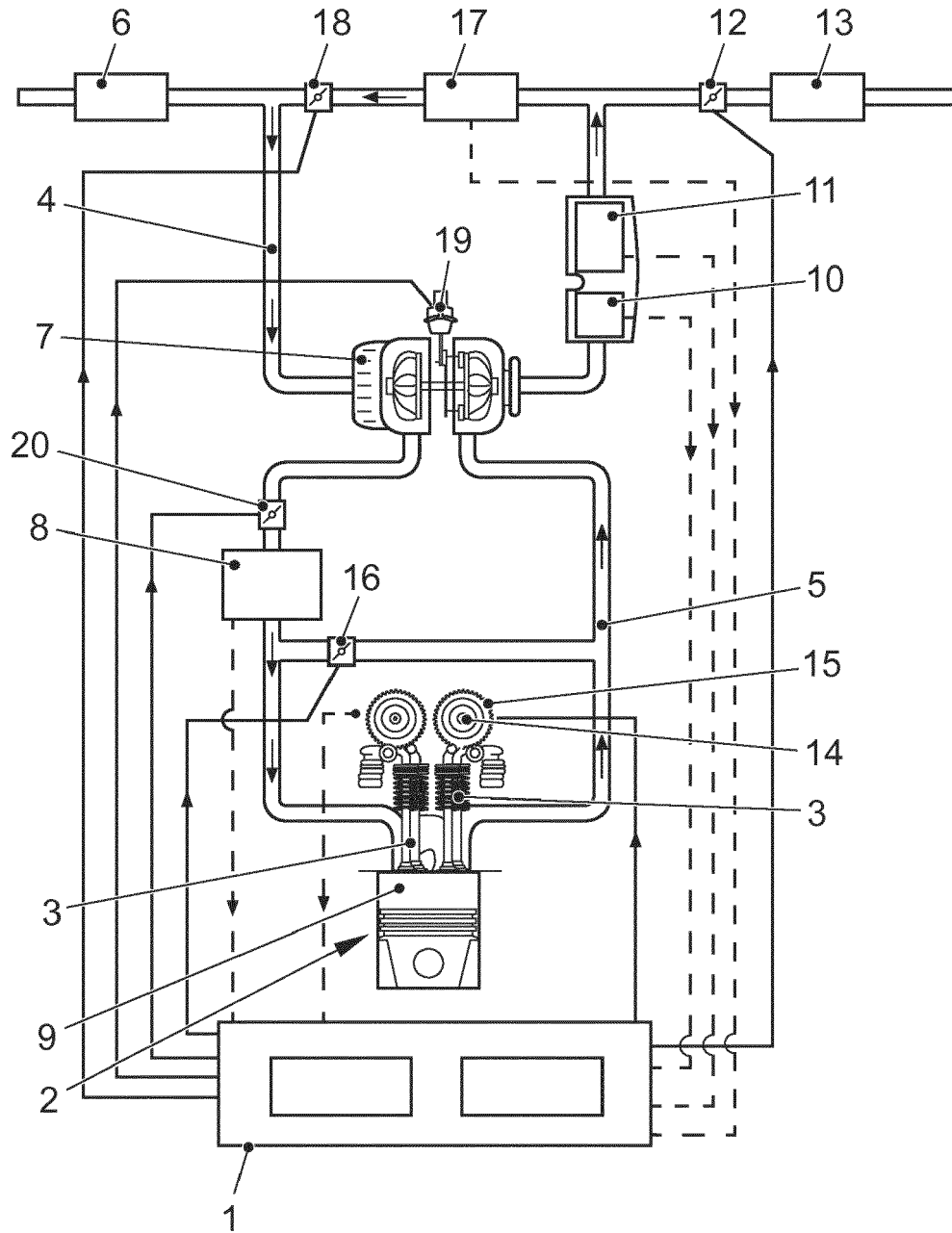


FIG. 1



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 17 16 6140

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X,P	WO 2016/079132 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 26. Mai 2016 (2016-05-26) * das ganze Dokument *	1,2,4-7, 9-15	INV. F02D41/14
X	Kristian Jankov: "Beitrag zur automatisierten Steuerkennfeld-Applikation bei Fahrzeug-Dieselmotoren",  28. August 2008 (2008-08-28), XP055036695, Gefunden im Internet: URL:http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2008/1972/pdf/jankov_kristian.pdf [gefunden am 2012-08-29] * Seite 99 - Seite 148 *	1,2,4-7, 9-15	
Y	* Seite 99 - Seite 148 *	1-15	
A	European Commission: "Commission Regulation 2016/427", Official Journal of the European Union, 10. März 2016 (2016-03-10), Seiten 1-98, XP055393672, Gefunden im Internet: URL:http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0427&qid=1500969939828&from=EN [gefunden am 2017-07-25] * das ganze Dokument *	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)  F02D
X	Heiko Sequenz: "Emission Modelling and Model-Based Optimisation of the Engine Control",  25. Februar 2013 (2013-02-25), XP055281312, Gefunden im Internet: URL:http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/3948/1/Emission [gefunden am 2016-06-16] * Seite 59 - Seite 115 *	1,2,4-7, 9-15	
Y	* Seite 59 - Seite 115 *	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>Den Haag</b>		Abschlussdatum der Recherche <b>29. August 2017</b>	Prüfer <b>Cassiat, Clément</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 17 16 6140

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	US 2011/264353 A1 (ATKINSON CHRISTOPHER M [US] ET AL) 27. Oktober 2011 (2011-10-27) * Absatz [0019] - Absatz [0042]; Abbildungen 2-14 *	1,2,4-7, 9-15	RECHERCHIERTES SACHGEBIETE (IPC)
Y	DE 103 55 412 A1 (SIEMENS AG [DE]) 14. Juli 2005 (2005-07-14) * Ansprüche 1-8; Abbildungen 1-6 *	1-15	
Y	DE 10 2011 089847 A1 (DENSO CORP [JP]) 28. Juni 2012 (2012-06-28) * Absatz [0003] - Absatz [0007]; Abbildungen 2-5 * * Absatz [0028] - Absatz [0035]; Abbildungen 1,7 *	1,2,4-7, 9-15	
Y	US 8 359 829 B1 (RAMBERG CHARLES E [US]) 29. Januar 2013 (2013-01-29) * Spalte 4, Zeile 55 - Spalte 11, Zeile 44; Abbildungen 1,7 *	1-15	
Y	EP 2 857 271 A2 (MAN TRUCK & BUS AG [DE]) 8. April 2015 (2015-04-08) * Absatz [0007] - Absatz [0021]; Abbildungen 1-4 *	1-15	
Y	DE 10 2010 025791 A1 (DAIMLER AG [DE]) 5. Januar 2012 (2012-01-05) * Absatz [0019] - Absatz [0039] *	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>Den Haag</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>29. August 2017</b>	Prüfer <b>Cassiat, Clément</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 17 16 6140

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	HOÄ L LANGOUÄ T ET AL: "Engine calibration: multi-objective constrained optimization of engine maps", OPTIMIZATION AND ENGINEERING ; INTERNATIONAL MULTIDISCIPLINARY JOURNAL TO PROMOTE OPTIMIZATIONAL THEORY & APPLICATIONS IN ENGIN, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, BO, Bd. 12, Nr. 3, 5. April 2011 (2011-04-05), Seiten 407-424, XP019926451, ISSN: 1573-2924, DOI: 10.1007/S11081-011-9140-8 * Seite 410 - Seite 418 *	1-15	
A	DE 198 31 487 C1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]) 16. März 2000 (2000-03-16) * das ganze Dokument *	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTER SACHGEBIETE (IPC)
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 29. August 2017	Prüfer Cassiat, Clément
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 17 16 6140

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

29-08-2017

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2016079132 A1	26-05-2016	CN 107002576 A	01-08-2017
		DE 102015222684 A1	19-05-2016
		EP 3221573 A1	27-09-2017
		KR 20170067890 A	16-06-2017
		WO 2016079132 A1	26-05-2016
-----			
US 2011264353 A1	27-10-2011	KEINE	
-----			
DE 10355412 A1	14-07-2005	DE 10355412 A1	14-07-2005
		WO 2005052344 A1	09-06-2005
-----			
DE 102011089847 A1	28-06-2012	DE 102011089847 A1	28-06-2012
		JP 5310709 B2	09-10-2013
		JP 2012136993 A	19-07-2012
-----			
US 8359829 B1	29-01-2013	KEINE	
-----			
EP 2857271 A2	08-04-2015	BR 102014014713 A2	10-02-2016
		CN 104670219 A	03-06-2015
		DE 102013016569 A1	09-04-2015
		EP 2857271 A2	08-04-2015
-----			
DE 102010025791 A1	05-01-2012	KEINE	
-----			
DE 19831487 C1	16-03-2000	KEINE	
-----			

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur**

- **LIN et al.** *A stochastic control strategy for hybrid electric vehicles* [0020]