

(19)



(11)

EP 3 244 046 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
07.07.2021 Patentblatt 2021/27

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

(21) Anmeldenummer: **17166140.8**

(22) Anmeldetag: **12.04.2017**

(54) STEUERUNGSVERFAHREN FÜR EINEN VERBRENNUNGSMOTOR, STEUERGERÄT UND VERBRENNUNGSMOTOR

CONTROL METHOD FOR A COMBUSTION ENGINE, CONTROL DEVICE AND COMBUSTION ENGINE

PROCÉDÉ DE COMMANDE D'UN MOTEUR À COMBUSTION INTERNE, APPAREIL DE COMMANDE ET MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

(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

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

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
15.11.2017 Patentblatt 2017/46

(73) Patentinhaber: **VOLKSWAGEN AKTIENGESELLSCHAFT 38440 Wolfsburg (DE)**

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

(56) Entgegenhaltungen:	
EP-A2- 2 857 271	WO-A1-2016/079132
DE-A1- 10 355 412	DE-A1-102010 025 791
DE-A1-102011 089 847	DE-C1- 19 831 487
US-A1- 2011 264 353	US-B1- 8 359 829

- **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]**
- **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]**
- **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]**
- **HOÀ L LANGOUÀ 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**

EP 3 244 046 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

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 CO₂-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 CO₂-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 CO₂-Emissionen, Regenerationsintervalle diverser Abgasnachbehandlungssysteme wie Rußpartikelfilter, AdBlue-Verbrauch, NOx Emissionen etc. oder eine Kombination solcher Größen).

[0016] Dokument US2011/0264353 A1 offenbart eine Optimierung von CO₂-Emissionen und NOx-Emissionen.

[0017] Dokumente "Beitrag zur automatisierten Steuerkennfeld-Applikation bei Fahrzeug-Dieselmotoren", von Kristian Jankov, "Emission Modelling and Model-Based Optimisation of the Engine Control" von Heiko Sequenz, und "Engine

calibration: multi-objective constrained optimization of engine maps" von Hoël Langouët diskutieren über die Optimierung der Emissionen mittels der Pareto-Front Methode.

[0018] Der Begriff "beliebige" Betriebszustände soll alle technisch sinnvollen Betriebszustände umfassen, die im sachgerechten Normalbetrieb eines Verbrennungsmotors auftreten können.

[0019] 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.

[0020] 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.

[0021] So ein Ansatz wäre jedoch auf die Betrachtung bereits zurückliegender Betriebszustände reduziert.

[0022] 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 Fahrzeugsteuergeräten mit beschränkter Rechenkapazität unter Umständen nur eingeschränkt anwendbar sind.

[0023] 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.

[0024] 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.

[0025] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der folgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung.

[0026] 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 CO₂-Ausstoß, der NO_x-Ausstoß und/oder der Ruß- bzw. Partikelaustritt) 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.

[0027] 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.

[0028] 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.

[0029] 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.

[0030] 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.

[0031] 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.

[0032] Dabei gibt es Ausführungen, bei denen die Betriebszustandsinformation wenigstens eine Drehzahl (n) und ein Soll-Drehmoment (M) umfasst.

[0033] Bei einer Ausführung umfassen die Ist-Emissionsgrößen (Zielfunktionen) wenigstens zwei der folgenden Größen. Zu den Größen gehören NO_x-Ausstoß, HC-Ausstoß, CO-Ausstoß, CO₂-Ausstoß, kombinierter HC- und NO_x-Ausstoß, Rußpartikelanzahl, Rußpartikelmasse, Beladungszustand eines Dieselpartikelfilters und/oder eines NO_x-Speicher-katalysators.

5 **[0034]** 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.

10 **[0035]** In einer anderen Ausführung werden zwei Ist-Emissionsgrößen betrachtet, und zwar insbesondere der Stickoxidausstoß und der Rußausstoß, die bei Dieselmotoren konkurrierend zusammenhängen.

[0036] Es gibt auch Ausführungen, bei denen der CO₂-Ausstoß und der NO_x-Ausstoß konkurrierend optimiert werden.

[0037] Es gibt auch Ausführungen, bei denen der CO₂-Ausstoß, der NO_x-Ausstoß und der Rußausstoß, also drei Ist-Emissionsgrößen, konkurrierend optimiert werden.

15 **[0038]** Mit Hilfe eines Verbrennungsmotors mit einem erfindungsgemäßen Steuergerät, lassen sich verbesserte Verbrauchswerte und Emissionswerte realisieren. So ein Verbrennungsmotor ist besonders für Fahrzeuge geeignet.

[0039] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nun beispielhaft und unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung beschrieben. Darin zeigt:

- 20 Fig. 1 schematisch ein Motorsystem mit einem erfindungsgemäßen Steuergerät;
 Fig. 2 ein schematisches Fahrzeuglayout mit einem erfindungsgemäßen Steuergerät;
 Fig. 3 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Steuerverfahrens mit wesentlichen Input- und
 25 Output-Größen;
 Fig. 4 ein Diagramm, in dem Ruß- und NO_x-Emissionen in Abhängigkeit der AGR-Rate dargestellt sind;
 Fig. 5 pareto-optimale Arbeitspunkte, für die eine bestimmte Rußemission und eine bestimmte NO_x-Emission
 30 gilt;
 Fig. 6 Auswahl einer Führungsgröße durch eine Indifferenzkurve basierend auf dem Zusammenhang von Rußemissionen und NO_x-Emissionen bei einer bestimmten (erhöhten) kumulierten NO_x-Emission;
 35 Fig. 7 die in Fig. 6 dargestellte Auswahl für eine niedrigere kumulierte NO_x-Emission;
 Fig. 8 die in Fig. 6 dargestellte Auswahl für eine überhöhte kumulierte NO_x-Emission;
 Fig. 9 die in Fig. 6 dargestellte Auswahl basierend auf dem Zusammenhang von CO₂- und NO_x-Emissionen;
 40 Fig. 10 die in Fig. 6 dargestellte Auswahl durch eine nichtlineare Indifferenzkurve;
 Fig. 11 eine Darstellung verschiedener Emissionsgrößen über einen Verlauf
 45 Fig. 12 den Verlauf einer Kennlinie zur Bestimmung einer Indifferenzkurve
 Fig. 12A-C unterschiedliche Indifferenzkurven, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren bestimmt sind.

[0040] In Fig. 1 ist ein Motorschema dargestellt, welches über ein erfindungsgemäßes Steuergerät 1 geregelt bzw.
 50 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
 55 3 über den Abgasstrang abgeführt.

[0041] 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.

[0042] Die Ventile 3 werden über eine verstellbare Nockenwelle 14 angetrieben. Die Verstellung erfolgt über eine Nockenwellenverstelleinrichtung 15, die vom Steuergerät 1 ansteuerbar ist.

[0043] 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.

[0044] 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).

[0045] 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.

[0046] Dazu können noch weitere Betriebszustandsinformationen kommen wie: Fahrpedalstellung, Drosselklappenstellung, Luftmasse, Batteriespannung, Motortemperatur, Kurbelwelldrehzahl und oberer Totpunkt, Getriebestufe, Fahrzeuggeschwindigkeit.

[0047] Es besteht also ein komplexes Steuer- und Regelsystem, welches den Motorbetrieb in unterschiedlichsten Betriebszuständen hinsichtlich unterschiedlicher Zielgrößen einstellen, regeln und möglichst optimieren soll.

[0048] 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.

[0049] 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.

[0050] Die nachfolgenden Ausführungsbeispiele beziehen sich auf die Steuerung und Regelung von Emissionswerten in Abhängigkeit von vorgegebenen Emissionsobergrenzen und kumulierten Ist-Werten.

[0051] 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 $x(t)$.

[0052] 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.

[0053] 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 , $Ru\beta$) 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).

[0054] 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.

[0055] Fig.4 zeigt beispielhaft den Zusammenhang zwischen NO_x -Emissionen und $Ru\beta$ -Emissionen in Abhängigkeit von der Abgasrückführate (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 $Ru\beta$ -Emissionen ansteigen.

[0056] Fig. 5 zeigt ein Diagramm mit Zielgrößenkombinationen von bestimmten $Ru\beta$ -Emissionen, die über bestimmte NO_x -Emissionen aufgetragen sind. Besteht nun z.B. die Aufgabe, in einem (beliebigen) Betriebszustand die $Ru\beta$ -Emissionen 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.

[0057] Pareto-optimale Zielgrößenkombinationen, bei denen der $Ru\beta$ -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 NOx-Emission günstiger auf der Paretofront realisiert werden können.

[0058] Die Auswahl aus pareto-optimalen Zielgrößenkombinationen von zwei Zielgrößen (NOx-Emissionen und Ruß-Emissionen) zeigt die Darstellung in Fig. 6. In der rechten Säule ist als Emissionsobergrenze EM^G ein NOx-Grenzwert $NOx-G$ (gestrichelte Linie) angegeben und die darunter dargestellte Säule zeigt im schraffierten Bereich als kumulierten Ist-Wert EM^K die bisherigen kumulierten NOx-Emissionen $NOx-K_1$. Da die kumulierten NOx-Emissionen $NOx-K_1$ bereits relativ nah am NOx-Grenzwert $NOx-G$ sind, ist hier ein relativ hohes Austauschverhältnis zwischen den Zielgrößen Ruß-Emissionen und NOx-Emissionen gewählt (erhöhte Ruß-Emissionen, zugunsten von geringen NOx), um den NOx-Grenzwert $NOx-G$ 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 Ruß-Emission und eine bestimmte NOx-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.

[0059] Fig. 7 zeigt ein Beispiel, bei dem die kumulierten NOx-Emissionen ($NOx-K_2$) weiter unter dem NOx-Grenzwert $NOx-G$ liegen. Hier ist das Austauschverhältnis der Indifferenzkurve I kleiner (die Gerade fällt flacher ab). Hier kann also eine höhere NOx-Emission in Kauf genommen werden, ohne dass Gefahr bestünde, dass der NOx-Grenzwert $NOx-G$ überschritten wird. Damit kann die Ruß-Emission geringer gehalten werden. Die flacher verlaufende Gerade wird an die nächste Zielgrößenkombination verschoben, an dem eine bestimmte NOx-Emission und eine entsprechende Ruß-Emission mit einer zugehörigen Führungsgröße $x(t)$ (hier die entsprechende AGR aus Fig.3) realisierbar ist.

[0060] Fig. 8 zeigt ein Beispiel, bei dem die kumulierten NOx-Emissionen ($NOx-K_3$) den NOx-Grenzwert $NOx-G$ überschritten haben. Hier ist das Austauschverhältnis der Geraden I (senkrechte Indifferenzkurve) quasi unendlich. Ungeachtet der Höhe der Ruß-Emissionen wird die Führungsgröße $x(t)$ für minimale NOx-Emission ausgewählt.

[0061] Fig. 9 zeigt analog zu Fig. 5 ein Beispiel, bei dem in Abhängigkeit der kumulierten NOx-Emissionen CO_2 minimiert werden soll.

[0062] Fig. 10 zeigt analog zu Fig. 5 ein Beispiel, bei dem die Indifferenzkurve nicht linear verläuft.

[0063] Die Figuren 11 bis 12C zeigen beispielhaft anhand der kombinierten Emissionsbetrachtung des CO_2 -Ausstoßes und des NOx-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 NOx-Emissionen \dot{m}_{NOx} zu ermitteln und daraus in bekannter Weise die entsprechende(n) Führungsgröße(n) abzuleiten.

[0064] Die Grundlage bildet die in Figur 12 dargestellte Größe β , die abhängig von einer Differenz δ bestimmt wird und mit der Steigung der Indifferenzkurven I korrespondiert. $\varphi(\beta)$ bezeichnet hier den Winkel, mit der die Indifferenzkurve I die \dot{m}_{NOx} -Achse (Abszisse) schneidet.

[0065] δ 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 NOx Menge m_{NOx} aufgezeichnet (durchgezogene Linie) und aus beiden wird die Differenz δ gebildet (gepunktete Linie). Es gilt die Beziehung gemäß Formel 1:

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

[0066] Demnach ergibt sich das zeit- bzw. streckenabhängige δ aus der Emissionsobergrenze EM^G , für NOx 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.

[0067] Von diesem strecken- bzw. zeitabhängigen Grenzwert wird dann die tatsächliche, kumulierte Emission EM^K (hier $m_{NOx}(t)$) und eine zukünftige, prognostizierte Emission EM^P (hier $\tilde{m}_{NOx}(t)$) abgezogen. Die Prädiktion ist bis zu einem Prädiktionshorizont $t = T$ möglich.

[0068] 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 $m_{NOx}(t)$, wobei eine vorausschauende Betrachtung (Pfeil Z nach rechts) zusätzlich die Prädiktionskomponenten EM^G $\tilde{s}(t)$ und $\tilde{m}_{NOx}(t)$ berücksichtigt.

[0069] Zum Zeitpunkt $t = t_1$ gilt dann:

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

mit der abgefahrenen Strecke:

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

5 der prognostizierten Strecke:

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

10

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

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

15

und dem prognostizierten Emissionswert EM^P , hier:

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

20

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

25

[0070] Aus einem sich so ergebenden δ -Wert (z.B. δ_1 , δ_2 oder δ_3) wird dann mittels einer Kennlinie, die in Figur 12 dargestellt ist, ein β -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 β -Wertes führt, soll gelten, dass

30

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

35

[0071] Gleichzeitig soll hier auch gelten, dass die Funktion streng monoton fallend ist, so dass bei zunehmenden δ , β stetig abnimmt, wie dies in der Funktion in Fig. 13 beispielhaft dargestellt ist.

[0072] 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.

40

[0073] 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 β -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 (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.

45

[0074] Figur 12A zeigt dabei ein β_1 , Figur 12B ein β_2 und Figur 12C ein β_3 . Die unterschiedlichen β -Werte (β_1 , β_2 und β_3) ergeben sich aus den korrespondierenden δ -Werten mit Hilfe der Kennlinie in der Figur 12.

[0075] Verringert sich das δ zwischen dem Emissionsgrenzwert und der kumulierten Emission von δ_1 zu δ_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).

55

[0076] Umgekehrt sinkt bei einem zunehmenden δ das β und damit auch die Steigung der Indifferenzkurve, deren

Verlauf flacher wird, und es werden in der gewünschten Weise Betriebspunkte bevorzugt bei denen höhere NO_x-Werte in Kauf genommen werden können und auf der anderen Seite die CO₂-Emission entsprechend reduziert wird (Figur 12C).

[0077] 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 CO₂-Ausstoß, Rußemission und 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

[0078]

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

$\varphi(\beta)$ Winkel
 $\tilde{s}(t)$ prognostizierte Strecke
 \tilde{v} Prädiktion eines zukünftigen Geschwindigkeitsverlaufs

5 \tilde{m}_{NOx} prognostizierter Verlauf eines NOx-Massenstroms
 u_f Betriebszustand
 V Vergangenheitsbetrachtung
 Z Zukunftsbetrachtung

10

Patentansprüche

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

15

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

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

20

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 (δ) bestimmten Indifferenzkurve (I) aus pareto-optimalen Alternativen ausgewählt wird und zur Bestimmung der Differenz (δ) eine Prädiktionsinformation (PI) berücksichtigt wird.

25

30

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.

35

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

40

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

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

45

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

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

50

9. 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.

55

10. 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.

11. 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.
- 5 12. Steuerungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens drei Ist-Emissionsgrößen (Em^{DS}) aus der folgenden Gruppe betrachtet werden: CO_2 -Ausstoß, NOx -Ausstoß und Rußausstoß.
13. Steuergerät (1) umfassend Mittel zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12.
14. Verbrennungsmotor (2) mit einem Steuergerät (1) nach Anspruch 13.
- 10 15. Fahrzeug mit einem Verbrennungsmotor (2) nach Anspruch 14.

Claims

- 15 1. Control method for a combustion engine (2) in a vehicle, comprising:
- determining a reference value $x(t)$, taking into account
- 20 - an item of operating state information (FW, SB) and
 - a difference (δ) between an emission upper limit (EM^G) and a cumulative actual emission value (EM^K),
- influencing an operating state of the combustion engine (2) by means of the reference value $x(t)$ such that at least two actual emission values are set in such a way that the corresponding cumulative actual emission values, in an operating period with a combination of arbitrary, different operating states of the internal combustion engine (2) set in a random sequence, do not exceed emission upper limits (EM^G) for this operating period, wherein a target function is minimized by selecting the reference value $x(t)$ from pareto-optimal alternatives by means of an indifference curve (I) determined from the difference (δ) , and an item of prediction information (PI) is taken into account for determining the difference (δ) .
- 25 2. Control method according to claim 1, wherein the prediction information (PI) comprises an item of operating state prognosis information $s(t)$.
3. Control method according to claim 1 or 2, wherein the operating state prognosis information $s(t)$ comprises at least one item of information from the following group: route quality, route length, environmental conditions.
- 35 4. Control method according to claim 1 or 2, wherein the item of prediction information (PI) comprises an emission prognosis value (EM^P).
- 40 5. Control method according to claim 1, 2, 3, or 4, wherein the indifference curve (I) is a straight line whose slope $(\beta(\delta))$ can be determined by means of a difference function $(\delta(t))$.
6. Control method according to one of the preceding claims, wherein the target function comprises an actual emission value (Em^{DS}), a fuel consumption, and/or a CO_2 emission.
- 45 7. Control method according to one of the preceding claims, wherein the operating state information (SB, FW) comprises a rotational speed $n(t)$ and a reference torque ($MSoll(t)$).
8. Control method according to one of the preceding claims, wherein the operating period and the various operating states of a drive are known.
- 50 9. Control method according to one of the preceding claims, wherein the actual emission values (Em^{DS}) comprise at least two of the following values: NOx emissions, HC emissions, CO emissions, CO_2 emissions, combined HC and NOx emissions, soot particle count, soot particle mass, AdBlue consumption.
- 55 10. Control method according to one of the preceding claims, wherein the reference value $x(t)$ comprises at least one of the following values: EGR rate, EGR split, fill, boost pressure, injection timing, ignition timing, rail pressure.

11. Control method according to one of the preceding claims, wherein at least two actual emission values (Em^{DS}) - in particular, CO₂ emissions and NOx emissions, and/or NOx emissions and soot emissions - are taken into account.
12. Control method according to one of the preceding claims, wherein at least three actual emission values (Em^{DS}) from the following group are taken into account: CO₂ emissions, NOx emissions, and soot emissions.
13. Control device (1) comprising means for carrying out the method according to one of claims 1 through 12.
14. Combustion engine (2) with a control device (1) according to claim 13.
15. Vehicle with a combustion engine (2) according to claim 14.

Revendications

1. Procédé de commande d'un moteur à combustion interne (2) dans un véhicule, comprenant :

détermination d'une variable de référence ($x(t)$) en tenant compte

- d'une information d'état de fonctionnement (FW, SB) et
- d'une différence (δ) entre une limite supérieure d'émission (EM^G) et une variable d'émission réelle cumulée (EM^K),

influence d'un état de fonctionnement du moteur à combustion interne (2) au moyen de la variable de référence ($x(t)$), de sorte qu'au moins deux variables d'émission réelles soient réglées de sorte que les variables d'émission réelle cumulées correspondantes ne dépassent pas, dans une période de fonctionnement avec un ensemble d'états de fonctionnement différents, arbitraires, réglés en ordre aléatoire du moteur à combustion interne (2), des limites supérieures d'émission (EM^G) pour cette période de fonctionnement, dans lequel une fonction cible est réduite au minimum, en ce que la variable de référence ($x(t)$) est sélectionnée au moyen d'une courbe d'indifférence (I) déterminée à partir de la différence (δ) parmi des alternatives Pareto-optimales et une information de prédiction (PI) est prise en compte pour la détermination de la différence (δ).

2. Procédé de commande selon la revendication 1, dans lequel l'information de prédiction (PI) comprend une information de pronostic d'état de fonctionnement ($s(t)$).
3. Procédé de commande selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'information de pronostic d'état de fonctionnement ($s(t)$) comprend au moins une information issue du groupe suivant : qualité d'itinéraire, longueur d'itinéraire, conditions environnementales.
4. Procédé de commande selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'information de prédiction (PI) comprend une variable de pronostic d'émission (EM^P).
5. Procédé de commande selon la revendication 1, 2, 3 ou 4, dans lequel la courbe d'indifférence (I) est une droite, dont l'inclinaison ($\beta(\delta)$) peut être déterminée au moyen d'une fonction de différence ($\delta(t)$).
6. Procédé de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fonction cible comprend une variable d'émission réelle (Em^{DS}), une consommation de carburant et/ou une émission de CO₂.
7. Procédé de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'information d'état de fonctionnement (SB, FW) comprend une vitesse de rotation ($n(t)$) et un couple théorique ($MSoll(t)$).
8. Procédé de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la période de fonctionnement et les états de fonctionnement différents d'un trajet sont connus.
9. Procédé de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les variables d'émission réelle (EM^{DS}) comprennent au moins deux des variables suivantes : production de NOx, production de HC, production de CO, production de CO₂, production de HC et NOx combinée, quantité de particules de suie, masse de particules de suie, consommation d'AdBlue.

EP 3 244 046 B1

10. Procédé de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la variable de référence $x(t)$ comprend au moins deux des variables suivantes : débit EGR, répartition EGR, remplissage, pression de suralimentation, calage d'injection, moment d'allumage, pression de rail.
- 5 11. Procédé de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au moins deux variables d'émission réelle (Em^{DS}), en particulier la production de CO_2 et la production de NOx et/ou la production de NOx et la production de suie, sont prises en compte.
- 10 12. Procédé de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au moins trois variables d'émission réelle (Em^{DS}) issues du groupe suivant sont prises en compte : production de CO_2 , production de NOx et production de suie.
- 15 13. Appareil de commande (1) comprenant des moyens pour la réalisation du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12.
- 15 14. Moteur à combustion interne (2) comprenant un appareil de commande (1) selon la revendication 13.
- 15 15. Véhicule comprenant un moteur à combustion interne (2) selon la revendication 14.

20

25

30

35

40

45

50

55

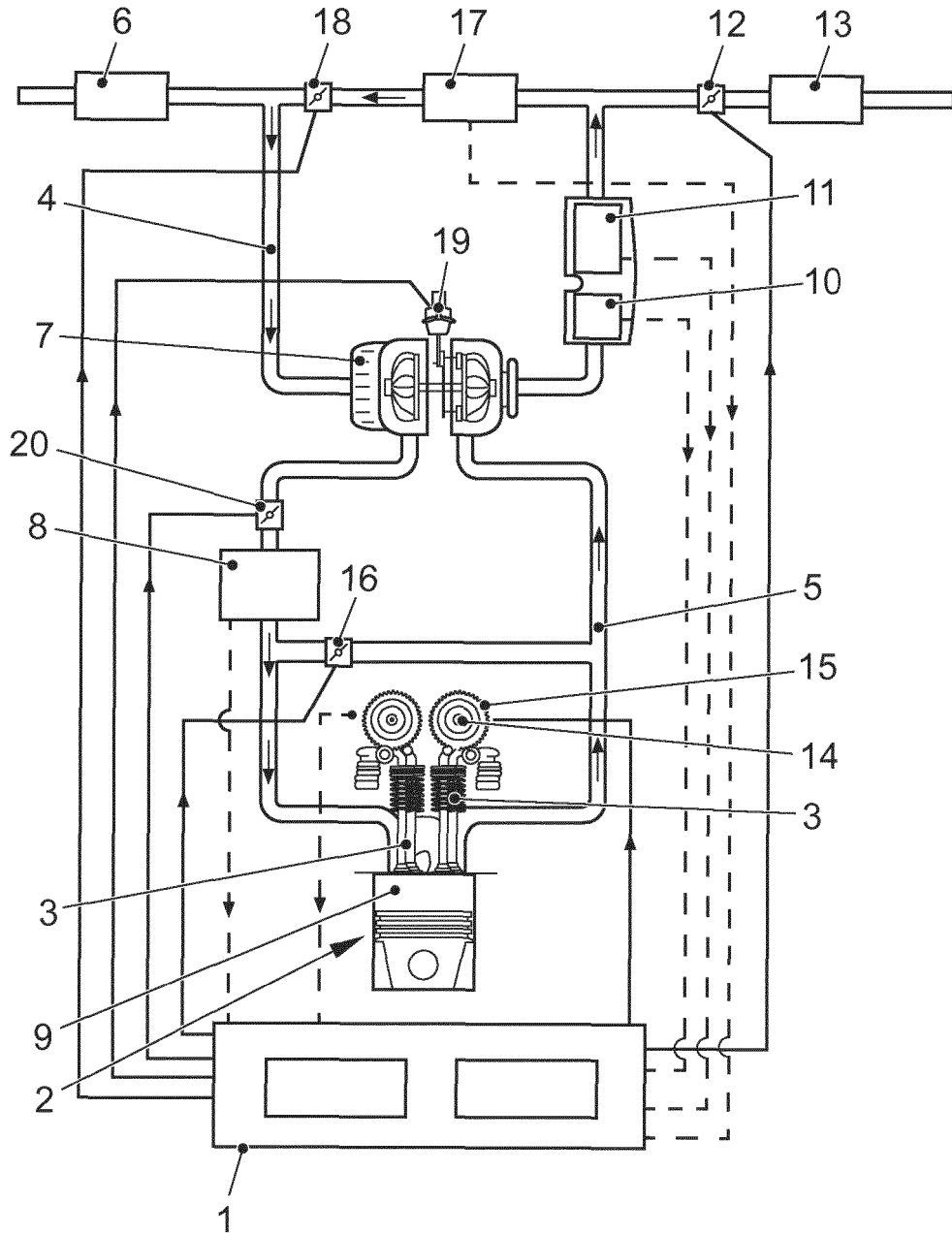


FIG. 1

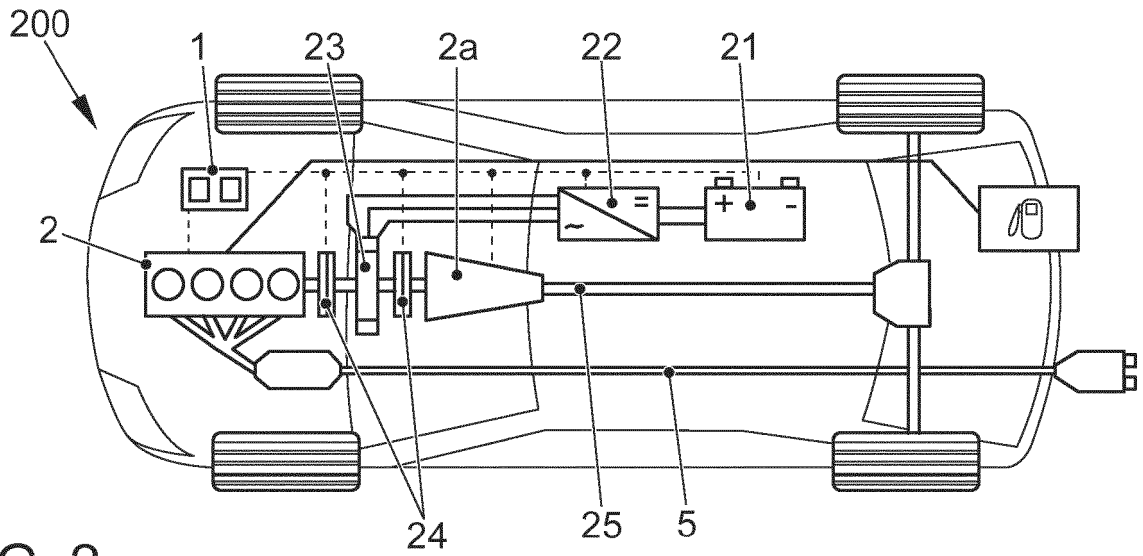


FIG. 2

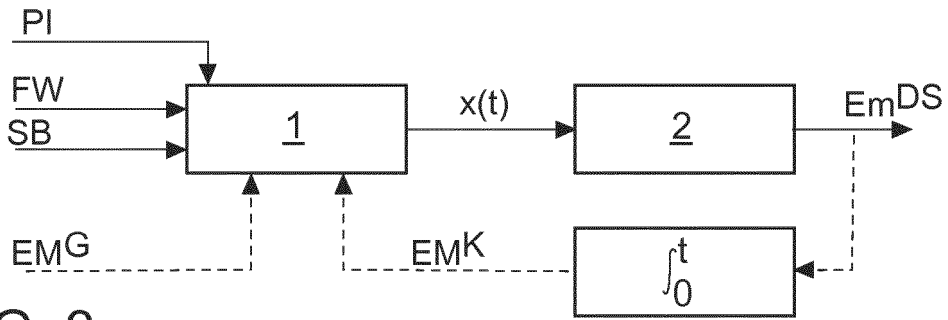


FIG. 3

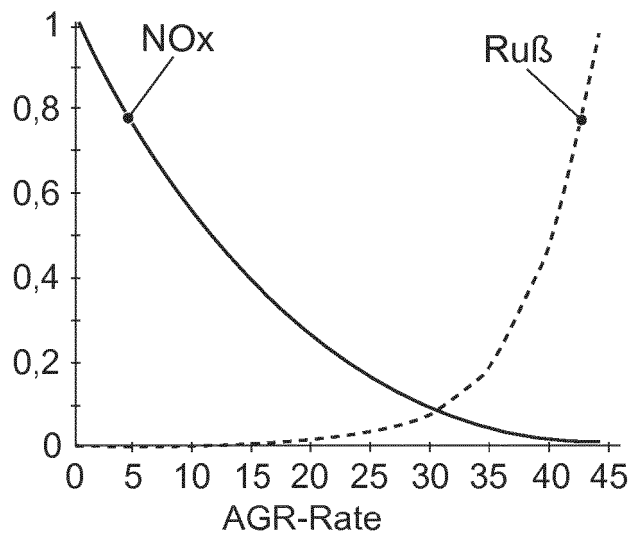


FIG. 4

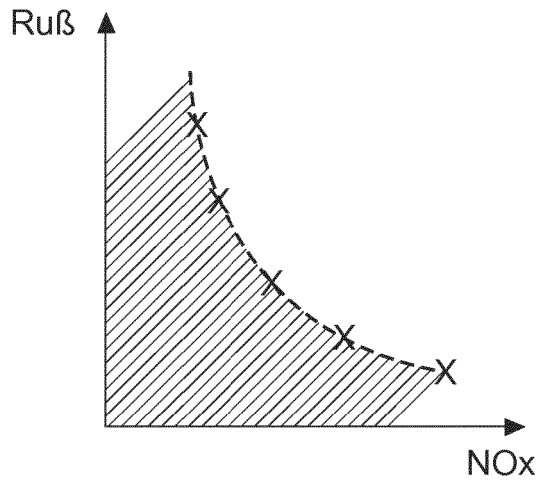


FIG. 5

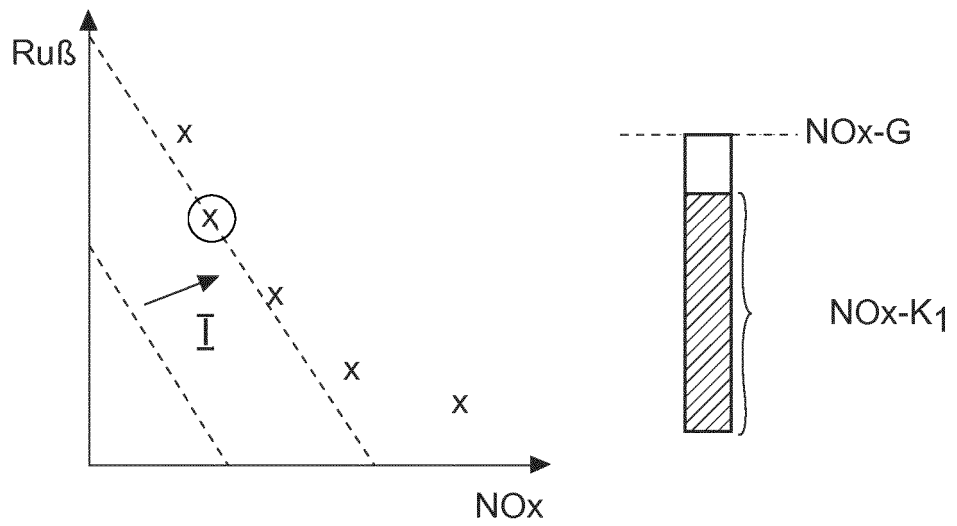


FIG. 6

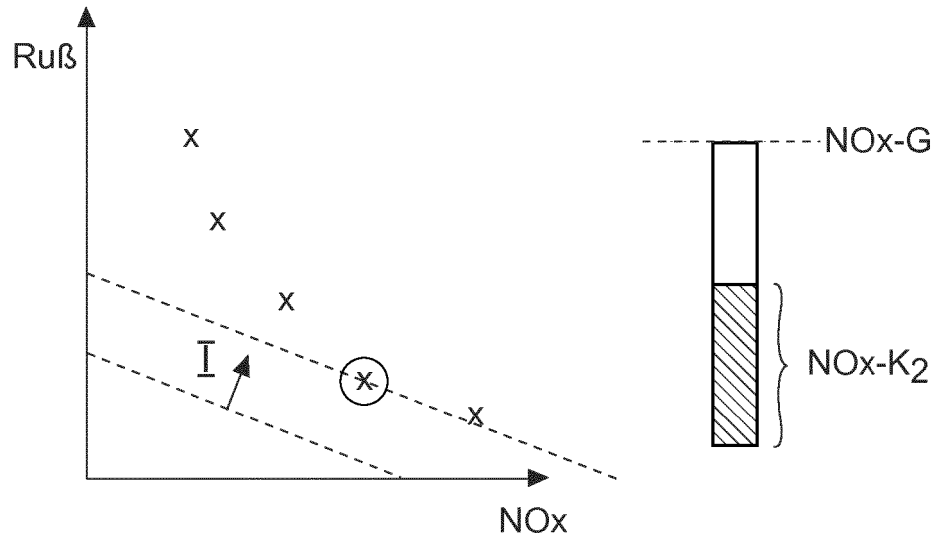


FIG. 7

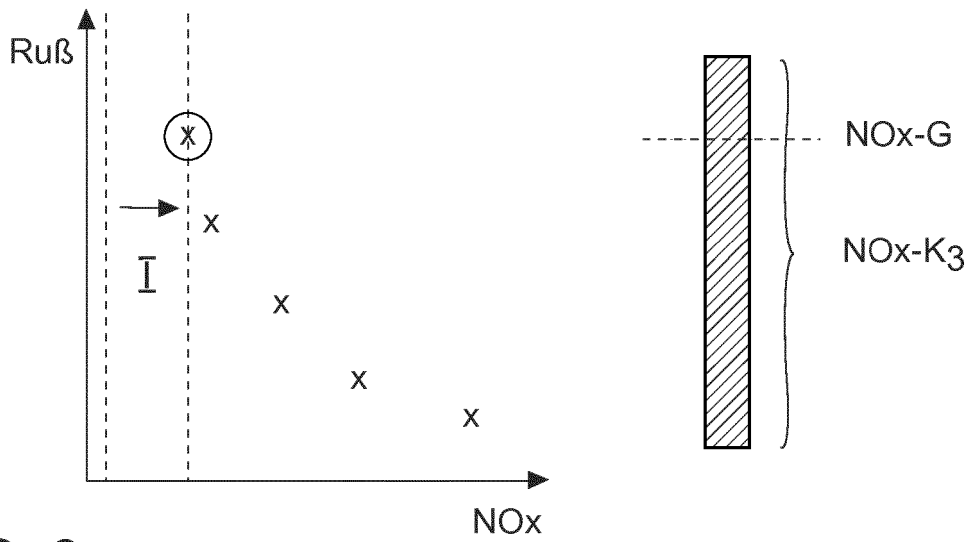


FIG. 8

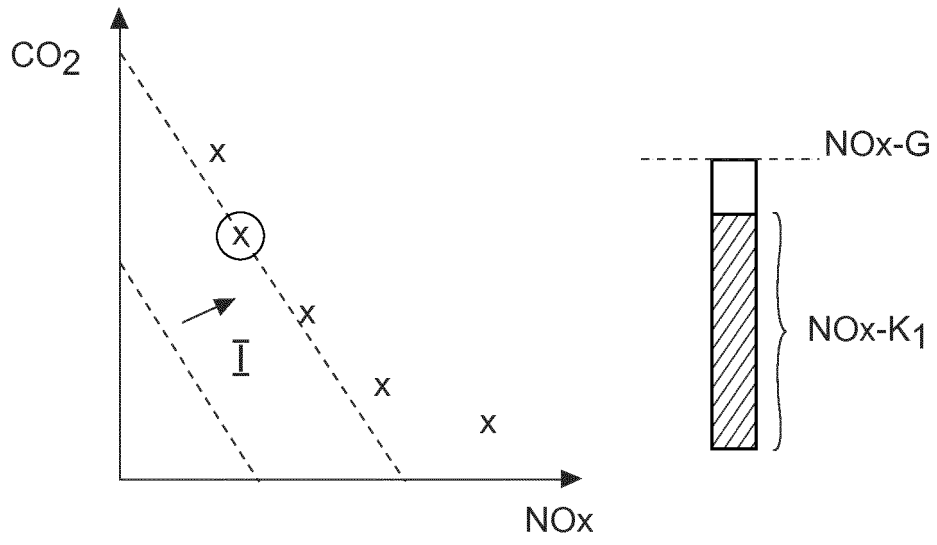


FIG. 9

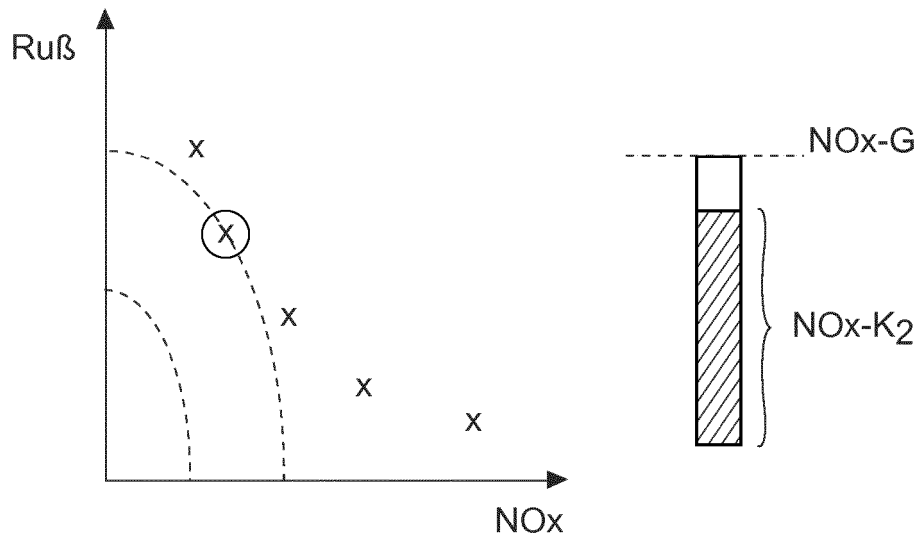


FIG. 10

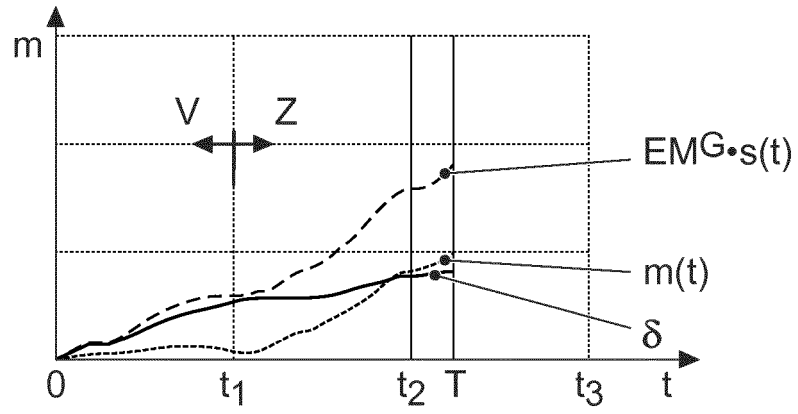


FIG. 11

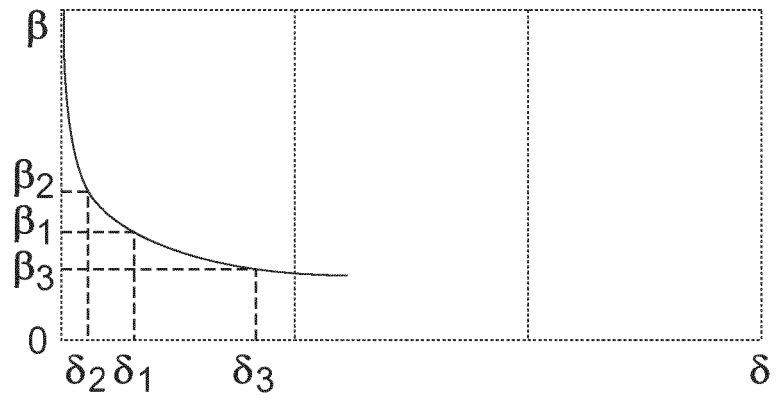


FIG. 12

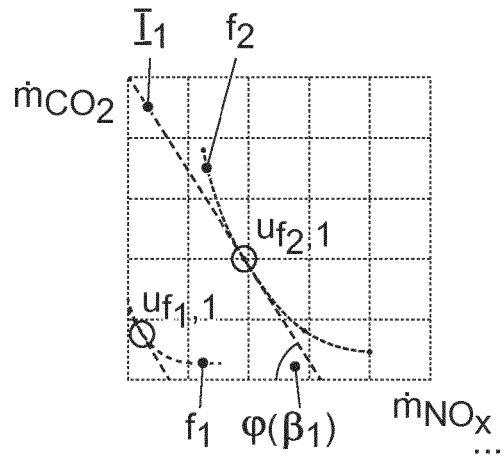


FIG. 12A

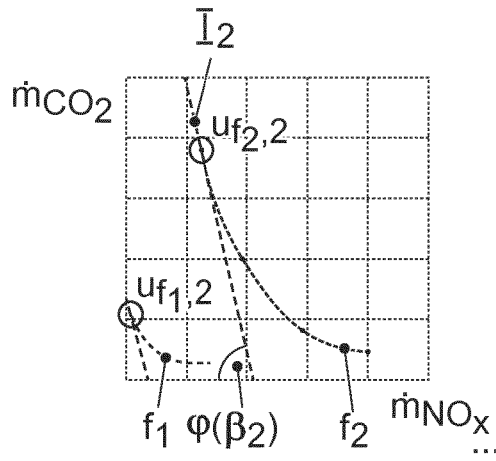


FIG. 12B

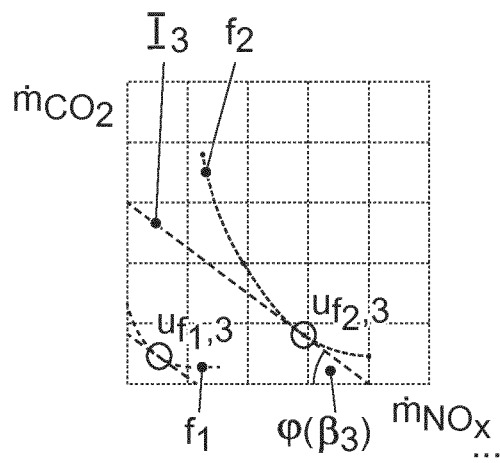


FIG. 12C

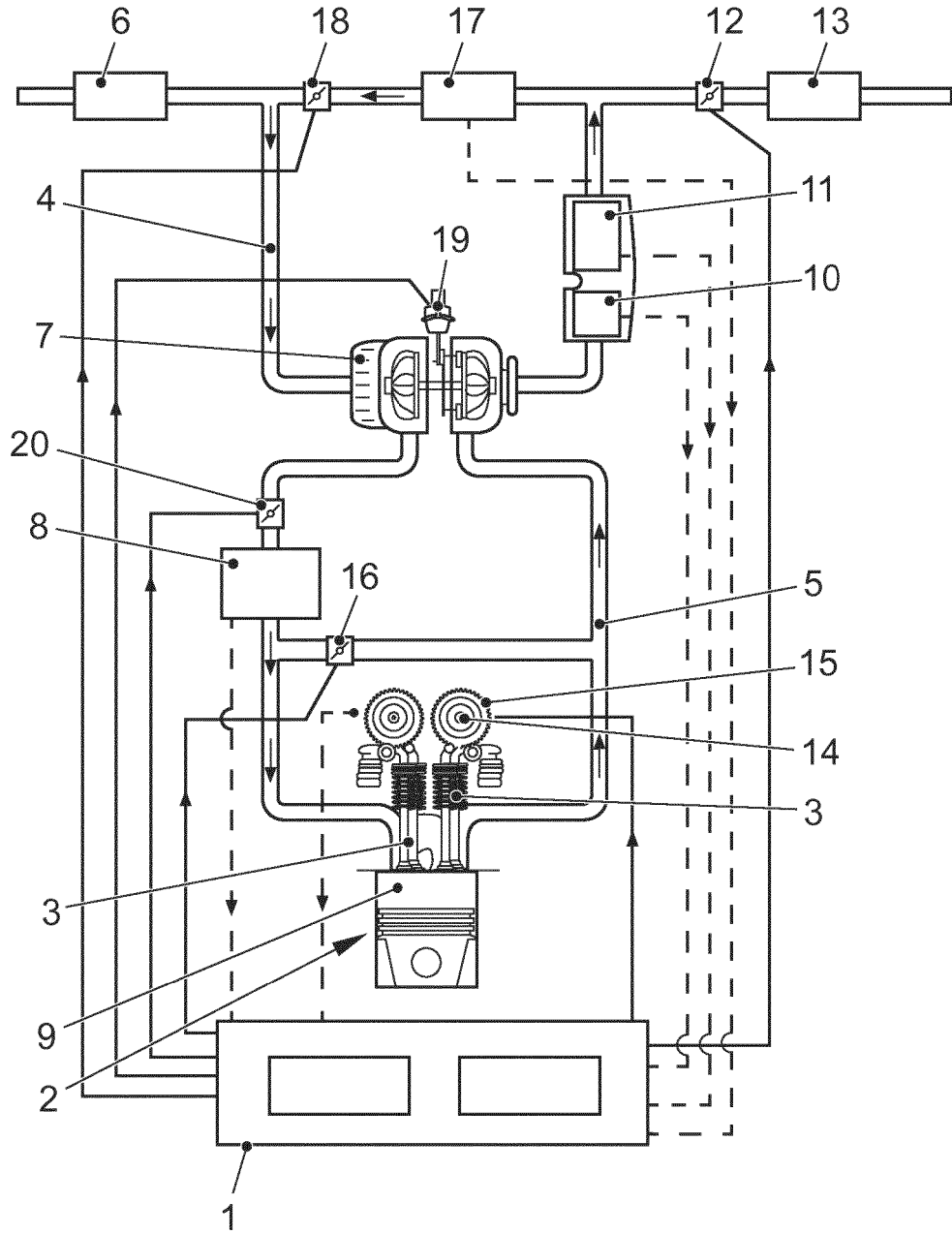


FIG. 1

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 Patentdokumente

- US 20110264353 A1 [0016]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Heiko Sequenz: Emission Modelling and Model-Based Optimisation of the Engine Control. *D17 Darmstädter Dissertationen*, 2012 [0007]
- **LIN et al.** *A stochastic control strategy for hybrid electric vehicles* [0022]