

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50117/2022 (51) Int. Cl.: **F02D 41/14** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 22.02.2022 **F02D 41/24** (2006.01)
(45) Veröffentlicht am: 15.05.2024 **G05B 23/02** (2006.01)
G06F 30/20 (2020.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2006230313 A1
KR 101708329 B1
US 2018238847 A1

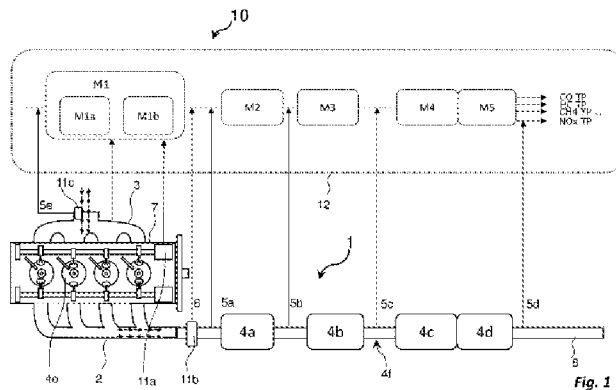
(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
PIFFL Martin Dr. techn.
8010 Graz (AT)
SCHÜSSLER Martin Dr.
8010 Graz (AT)
HERRMUTH Holger Dipl.-Ing.
8020 Graz (AT)
DANNINGER Alois Dr. techn.
8605 Kapfenberg (AT)

(74) Vertreter:
Hartinger Mario Dipl.-Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **Verfahren zum Bestimmen einer Konzentration eines Gases in einem Gaspfad einer Brennkraftmaschine**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine System (10) zum Bestimmen einer Konzentration eines Gases und/oder von Partikeln an einer ersten Stelle (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) in einem Gaspfad, insbesondere in einem Abgasstrang (2), einer Brennkraftmaschine (1), wobei Messdaten wenigstens eines Betriebsparameters der Brennkraftmaschine (1) durch wenigstens einen Sensor (11) erzeugt werden, wobei ein Betrieb wenigstens einer Komponente (4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f) der Brennkraftmaschine (1) auf der Grundlage der Messdaten mittels eines Simulationsmodells (M1, M2, M3, M4, M5) simuliert wird, wobei Werte von Parametern des Simulationsmodells (M1, M2, M3, M4, M5) auf der Grundlage von zu erwartenden Altersveränderungen der wenigstens einen Komponente (4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f) kontinuierlich angepasst werden und wobei ein Wert der Konzentration des Gases und/oder der Partikel an der ersten Stelle (M1, M2, M3, M4, M5) auf der Grundlage der Messdaten und des simulierten Betriebs der wenigstens einen Komponente (4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f) ermittelt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen einer Konzentration eines Gases und/oder von Partikeln an einer ersten Stelle in einem Gaspfad einer Brennkraftmaschine, wobei Messdaten an einer zweiten Stelle des Gaspfads durch wenigstens einen Sensor erzeugt werden.

[0002] Aus heutiger Sicht erfordern zukünftige Emissionsgesetzgebungen eine fahrzeugeigene On-Board-Überwachung von gesetzlich limitierten Emissionen. Daher ist es wünschenswert, bestimmte Konzentrationen von Gasen und/oder Partikeln im Abgasgemisch des Gaspfads durch eine Brennkraftmaschine bestimmen zu können.

[0003] Verschiedene Verfahren zur Vorhersage, die insbesondere tatsächlich gemessene Werte mit vorhergesagten Werten vergleichen, sind aus den Dokumenten US 2006230313 A1, KR 101708329 B1 und US 2018238847 A1 bekannt.

[0004] WO 2019/153026 A1 betrifft ein computergestütztes Verfahren zum Trainieren eines Transformationsmodells, insbesondere eines künstlichen neuronalen Netzes, zur Charakterisierung einer Gattung von Einheiten, welche eine Mehrzahl an verschiedenen Einrichtungen aufweisen, insbesondere eines Fahrzeugs oder Motors, folgende Arbeitsschritte aufweisend:

- Simulieren eines Betriebs einer Einheit der Gattung in einem definierten Betriebszyklus mittels eines Modells, in welchem wenigstens eine Einrichtung als virtuelle Einrichtung abgebildet ist, wobei das Simulieren mehrmals mit jeweils unterschiedlicher Konfiguration durchgeführt wird, wobei jede Konfiguration durch eine Ausprägung wenigstens einer Eigenschaft wenigstens einer der Einrichtungen charakterisiert ist;
- Aufzeichnen von Datensätzen, insbesondere Datenmatrizen, von Beobachtungsgrößen der simulierten Einheiten;
- Auswählen von Datenbereichen aus den Datensätzen, insbesondere aus Datenspalten und Datenmatrizen, welche eine Korrelation von Beobachtungsgrößen zu den zum Simulieren eingesetzten Ausprägungen einer Eigenschaft der wenigstens einen Einrichtung feststellbar ist, insbesondere mittels einer statistischen Methode; und
- Einlesen der ausgewählten Datenbereiche und der korrelierenden Ausprägungen in eine Ausgleichsrechnung, welche die Grundlage für das Transformationsmodell bildet.

[0005] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren oder eine Vorrichtung zum Bestimmen einer Konzentration eines Gases und/oder von Partikeln an verschiedenen Stellen des Gaspfads bereitzustellen. Insbesondere ist es eine Aufgabe der Erfindung, Konzentrationen eines Gases und/oder von Partikeln ohne Messungen derselben zu bestimmen.

[0006] Diese Aufgabe wird gelöst durch die Lehre der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Ausgestaltungen werden in den abhängigen Ansprüchen beansprucht.

[0007] Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen einer Konzentration eines Gases und/oder von Partikeln an einer ersten Stelle in einem Gaspfad, insbesondere in einem Abgasstrang, einer Brennkraftmaschine, wobei Messdaten wenigstens eines Betriebsparameters der Brennkraftmaschine (1) durch wenigstens einen Sensor erzeugt werden, wobei ein Betrieb wenigstens einer Komponente der Brennkraftmaschine auf der Grundlage der Messdaten mittels eines Simulationsmodells simuliert wird, wobei Werte von Parametern des Simulationsmodells auf der Grundlage von zu erwartenden Altersveränderungen der wenigstens einen Komponente, insbesondere kontinuierlich, angepasst werden und wobei ein Wert der Konzentration des Gases und/oder der Partikel an der ersten Stelle auf der Grundlage der Messdaten und des simulierten Betriebs der wenigstens einen Komponente ermittelt wird.

[0008] Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft ein System zum Bestimmen einer eines Gases und/oder von Partikeln an einer ersten Stelle in einem Gaspfad, insbesondere im Abgasstrang, einer Brennkraftmaschine, aufweisend:

wenigstens einen Sensor zum Erzeugen von Messdaten an einer zweiten Stelle des Gaspfads; Mittel zum Simulieren eines Betriebs wenigstens einer Komponente der Brennkraftmaschine auf der Grundlage der Messdaten mittels eines Simulationsmodells, wobei Werte von Parametern des Simulationsmodells auf der Grundlage von zu erwartenden Altersveränderungen der wenigstens einen Komponente, insbesondere kontinuierlich, angepasst werden; und Mittel zum Ermitteln eines Werts der Konzentration des Gases und/oder der Partikel an der ersten Stelle auf der auf Grundlage der Messdaten und des simulierten Betriebs der wenigstens einen Komponente.

[0009] Ein dritter Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Analyse wenigstens einer Komponente einer Brennkraftmaschine, die folgenden Arbeitsschritte aufweisend: Bestimmen einer Konzentration eines Gases an einer ersten Stelle in einem Gaspfad mittels eines Verfahrens nach dem ersten Aspekt der Erfindung;

Ermitteln von Alterungsveränderungen der wenigstens einen Komponente der Brennkraftmaschine auf der Grundlage von Betriebsparametern der Brennkraftmaschine; und Korrelieren der Konzentration eines Gases und/oder von Partikeln mit Alterungsveränderungen der wenigstens einen Komponente der Brennkraftmaschine.

[0010] Ein vierter Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern einer Brennkraftmaschine, wobei beim Steuern eine Konzentration eines Gases und/oder von Partikeln an einer ersten Stelle in einem Gaspfad der Brennkraftmaschine berücksichtigt wird, wobei Werte der Konzentration mittels eines Verfahrens zum Bestimmen einer Konzentration eines Gases und/oder von Partikeln bestimmt wird.

[0011] Weitere Aspekte der Erfindung betreffen ein Computerprogramm oder Computerprogrammprodukt, wobei das Computerprogramm oder Computerprogrammprodukt, insbesondere auf einem Computer lesbare und/oder nicht-flüchtigen Speichermedium gespeicherte, Anweisungen erhält, welche, wenn sie von einem Computer ausgeführt werden, den Computer dazu veranlassen, die Schritte eines erfindungsgemäßen Verfahrens auszuführen.

[0012] Der Begriff „kontinuierlich“ bedeutet im Sinne der Erfindung, dass Anpassungen zur Berücksichtigung von Altersveränderungen während eines Betriebs der Brennkraftmaschine oder des Fahrzeugs nachgeführt werden.

[0013] Vorzugsweise wird beim Anpassen ein Parameter, ein Kennfeld oder eine Funktion des Simulationsmodells verändert. Weiter vorzugsweise wird dies in Abhängigkeit von einer Betriebszeit und/oder einer Kilometerleistung der Brennkraftmaschine und/oder des Fahrzeugs vorgenommen.

[0014] Die Erfindung beruht auf dem Ansatz, Gaskonzentrationen im Gaspfad und/oder Partikel einer Brennkraftmaschine durch Modelle zu bestimmen, welcher als Eingangsgröße wenigstens Messwerte von einem Sensor, welcher wenigstens einen Betriebsparameter der Brennkraftmaschine misst, erhält. Weiter vorzugsweise wird zur Ermittlung der Altersveränderungen ein Lastprofil während des bereits erfolgten Betriebs berücksichtigt.

[0015] Auf diese Weise können, je nachdem, welcher Betriebsparameter gemessen wurde, die Gaskonzentrationen und/oder Partikel an bestimmten Stellen des Gaspfads bestimmt, insbesondere berechnet, werden.

[0016] Insbesondere können bei der Simulation des Betriebs der wenigstens einen Komponente der Brennkraftmaschine Altersveränderungen der wenigstens einen Komponente berücksichtigt werden. Hierfür wird das Simulationsmodell, insbesondere Werte von Parametern des Simulationsmodells, kontinuierlich auf der Grundlage der zu erwartenden Altersveränderung angepasst.

[0017] Auf diese Weise können fahrzeugindividuelle oder sogar brennkraftmaschinenindividuelle Emissionsbestimmungen vorgenommen werden, welche die sich über die Zeit verändernden Eigenschaften von emissionsrelevanten Komponenten der Brennkraftmaschine berücksichtigen.

[0018] Durch kontinuierliche Bestimmung von Gaskonzentrationen und/oder Partikel an verschiedenen Stellen des Gaspfads der Brennkraftmaschine kann darüber hinaus ein sogenanntes "Pin-

Pointing" realisiert werden, bei welchem die Komponente oder Komponenten, welche für eine Emissionsüberschreitung von gesetzlichen Schwellenwerten verantwortlich sind, identifiziert werden.

[0019] Durch das kontinuierliche Nachführen von zu erwartenden Altersveränderungen bei mehreren Komponenten können überdies Interaktionseffekte, welche einen Einfluss auf die Emission haben, berücksichtigt werden.

[0020] Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens können, beispielsweise nach Erkennen eines historischen Trends der zu erwartenden Altersveränderungen der Komponenten der Brennkraftmaschine, auch Voraussagen über die Entwicklung der einzelnen Gaskonzentrationen und/oder Partikel bei einer weiteren Veränderung der Werte des Betriebsparameters gemacht werden. Auf diese Weise können Wartungsereignisse vorhergesagt werden.

[0021] Vorzugsweise wird das erfindungsgemäße Verfahren in einem Steuergerät, insbesondere einem Motorsteuergerät, in einer Datencloud und/oder auf einem Smart Device ausgeführt, welches sich im Fahrzeug, am Prüfstand oder auch irgendwo anders befinden kann.

[0022] Durch das erfindungsgemäße Verfahren zur Analyse einer Komponente kann ein direkter Zusammenhang zwischen den Altersveränderungen der wenigstens einen Komponente und der Konzentrationen des Gases und/oder der Partikel hergestellt werden.

[0023] In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens zum Bestimmen einer Konzentration eines Gases und/oder Partikel werden die zu erwartenden Altersveränderungen in Abhängigkeit von initialen Fertigungstoleranzen und/oder Einbautoleranzen in Bezug auf die wenigstens eine Komponente ermittelt. Hierdurch können die Auswirkungen von initialen Fertigungstoleranzen und/oder Einbautoleranzen der wenigstens einen Komponente bei der Simulation zur Bestimmung der Konzentration des Gases und/oder Partikel berücksichtigt werden.

[0024] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens zum Bestimmen einer Konzentration und/oder Partikel eines Gases ist der wenigstens eine Betriebsparameter aus der folgenden Gruppe an Betriebsparametern ausgewählt:

- Dosierte Kraftstoffmenge;
- Dosierte Harnstoffmenge;
- Zeitpunkte und Dauer der Dosierungen;
- Betriebsmodus Brennkraftmaschine;
- Rückmeldungen der Aktoren;
- Frischluftmassenstrom;
- Massenstrom der Abgasrückführung;
- Nockenwellenwinkel;
- Kurbelwellenwinkel;
- Einspritzdruck des Kraftstoffs;
- Temperatur nach Ladeluftkühler;
- Druck im Ansaugkrümmer;
- Druck im Abgaskrümmer;
- Druck nach Turboladerturbine;
- Druck nach Turboladerverdichter
- Differenzdruck über den Partikelfilter;
- Stickoxidkonzentration am Ausgang der Brennkraftmaschine;

- Stickoxidkonzentration am Auspuff;
- Lambda-Wert; und
- Temperatur in der Abgasnachbehandlung.

[0025] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist das Gas aus der folgenden Gruppe an Gasen ausgewählt:

- Stickoxide;
- Ammoniak;
- Kohlenwasserstoffe, inklusive Methan;
- Kohlenmonoxid.

[0026] Die Partikelkonzentration wird vorzugsweise als Partikelanzahl PN oder Partikelmasse PM bestimmt.

[0027] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens zum Bestimmen einer Konzentration eines Gases und/oder Partikel ist die wenigstens eine Komponente aus der folgenden Gruppe an Komponenten ausgewählt:

- Turbolader
- Ladeluftkühler
- Zylinderbrennraum;
- Oxidationskatalysator;
- Stickstoffoxid-Speicherkatalysator;
- Partikelfilter, insbesondere Dieselpartikelfilter;
- SCR-Katalysator auf Partikelfilter;
- SCR-Katalysator;
- Ammoniakschlupfkatalysator,
- Verrohrung im Gaspfad.

[0028] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens zum Bestimmen einer Konzentration eines Gases und/oder Partikel ist die erste Stelle am Ende des Auspuffrohrs.

[0029] Auf diese Weise kann die jeweilige Gaskonzentration und/oder Partikel besonders zuverlässig bestimmt werden.

[0030] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens zum Bestimmen einer Konzentration eines Gases ist die wenigstens eine Komponente eine Vorrichtung zur Abgasnachbehandlung im Abgasstrang und, je nach Lage der ersten Stelle im ersten Abgasstrang, wird wenigstens eine Vorrichtung einer Mehrzahl an Vorrichtungen zur Abgasnachbehandlung, welche im Abgasstrang stromaufwärts in Bezug auf die erste Stelle angeordnet ist, zum Ermitteln des Werts der Konzentration des Gases und/oder Partikel simuliert. Auf diese Weise kann mit verschiedenen Modellen der Abgasnachbehandlung eine Konzentration der Gase und/oder Partikel kaskadiert bestimmt werden.

[0031] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens zum Bestimmen einer Konzentration eines Gases und/oder Partikel ist der Sensor an einer zweiten Stelle des Gaspfads angeordnet, wobei die erste Stelle im Gaspfad stromaufwärts der wenigstens einen Komponente, welche im Gaspfad stromabwärts der zweiten Stelle liegt, liegt oder wobei die erste Stelle im Gaspfad stromabwärts der wenigstens einen Komponente, welche im Gaspfad stromaufwärts der zweiten Stelle liegt, liegt. Liegt auch der Sensor im Gaspfad, kann eine Umwandlung von Konzentrationen eines Gases im Gaspfad bestimmt werden.

[0032] Die im vorhergehenden beschriebenen Merkmale und Vorteile des ersten Aspekts der Erfindung gelten auch für die weiteren Aspekte der Erfindung und umgekehrt.

[0033] In einer vorteilhaften Ausgestaltung weist das Verfahren zur Analyse einer Komponente des Weiteren die folgenden Arbeitsschritte auf:

Vergleichen der bestimmten Konzentration eines Gases und/oder Partikel mit wenigstens einem Schwellenwert; und

Ermitteln der wenigstens einen Komponente der Brennkraftmaschine, welche für ein Überschreiten des wenigstens einen Schwellenwerts ursächlich ist.

[0034] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens zur Analyse einer Komponente werden die zu erwartenden Alterungsveränderungen mittels eines Transformationsmodells bestimmt, welches vorzugsweise auf einem künstlichen neuronalen Netz beruht.

[0035] Weitere Merkmale und Vorteile ergeben sich aus der Beschreibung in Bezug auf die Figuren.

[0036] Es zeigt wenigstens teilweise schematisch:

[0037] Figur 1: ein Ausführungsbeispiel eines Systems zur Bestimmung einer Konzentration eines Gases und/oder von Partikeln in einem Gaspfad;

[0038] Figur 2: ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zur Bestimmung einer Konzentration eines Gases und/oder von Partikeln in einem Gaspfad; und

[0039] Figur 3: ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zur Analyse wenigstens einer Komponente einer Brennkraftmaschine.

[0040] Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Systems 10 zum Bestimmen einer Konzentration eines Gases und/oder von Partikeln an einer ersten Stelle 5a, 5b, 5c, 5d, 5e in einem Gaspfad. Darüber hinaus ist eine Brennkraftmaschine 1 mit einem Ansaugkrümmer 3, einem Motorblock 7 und einem Abgaskrümmer 2 eines Abgasstrangs dargestellt, welcher mit dem Auspuffrohr 8 endet.

[0041] Darüber hinaus weist die Brennkraftmaschine verschiedene Komponenten auf, welche einen Einfluss auf die Konzentration von Gasen und/oder Partikeln im Gaspfad und insbesondere im Gaspfad im Abgasstrang haben.

Wie in Figur 1 gezeigt, können diese Komponenten beispielsweise, aber nicht abschließend, ein Oxidationskatalysator 4a, ein Partikelfilter 4b, ein SCR-Katalysator 4c, ein Ammoniak-schlupfkatalysator 4d, aber auch der Zylinderbrennraum 4e oder eine Verrohrung im Gaspfad des Abgasstrangs 4f sein. Ebenso kann die Komponente ein nicht dargestellter Turbolader oder Ladeluftkühler sein.

[0042] Für einige Abgase, wie Kohlenwasserstoffe oder Kohlenmonoxid, gibt es keine Sensoren im Fahrzeug, welche die reale Konzentration im Gaspfad messen könnten. Die herausfordernden Bedingungen im Gaspfad und insbesondere im Gaspfad des Abgasstrangs 4f einer Brennkraftmaschine 1 machen eine direkte Korrelation über vorhandene Messtechnik der Brennkraftmaschine, gerade über den Lebenszyklus eines Fahrzeugs, jedoch schwierig.

[0043] Das erfindungsgemäße System 10 weist verschiedene Module auf, mittels welchen Konzentrationen verschiedener Gase und Partikel bestimmt werden können.

[0044] Vorzugsweise weist das System ein oder mehrere Sensoren auf, welche reale Messungen an einer realen Brennkraftmaschine 1 durchführen. Beispielsweise kann ein Nockenwellenwinkel mittels eines ersten Sensors 11a bestimmt werden. Des Weiteren vorzugsweise kann eine Konzentration eines Gases oder von Partikeln am Ausgang des Motorblocks 7 der Brennkraftmaschine 1 im Gaspfad der Brennkraftmaschine 1 mittels eines zweiten Sensors 11b gemessen werden. Weiter vorzugsweise kann eine Konzentration eines oder mehrerer Gase oder von Partikeln mittels eines dritten Sensors 11c im Ansaugtrakt, insbesondere vor dem Ansaugkrümmer 3 der Brennkraftmaschine 1 gemessen werden.

[0045] Darüber hinaus weist das System 10 Mittel 12 zum Simulieren wenigstens einer der Kom-

ponenten 4a, 4b, 4c, 4e, 4f auf, welche für die Konzentration von Gasen und Partikeln im Gaspfad der Brennkraftmaschine 1 relevant sind.

[0046] Ein Mittel im Sinne der Erfindung kann hard- und/oder softwaretechnisch ausgebildet sein und insbesondere eine, vorzugsweise mit einem Speicher- und/oder Bussystem daten- bzw. signalverbundene, insbesondere digitale, Verarbeitungs-, insbesondere Mikroprozessoreinheit (CPU) und/oder ein oder mehrere Programme oder Programmmodule aufweisen. Die CPU kann dazu ausgebildet sein, Befehle, die als ein am Speichersystem abgelegtes Programm implementiert sind, abzuarbeiten, Eingangssignale von einem Datenbus zu erfassen und/oder Ausgangssignale an einen Datenbus abzugeben. Ein Speichersystem kann ein oder mehrere, insbesondere verschiedene, Speichermedien, insbesondere optische, magnetische, Festkörper- und/oder andere nicht-flüchtige Medien, aufweisen. Das Programm kann derart beschaffen sein, dass es die hier beschriebenen Verfahren verkörpert bzw. auszuführen imstande ist, sodass die CPU die Schritte solcher Verfahren ausführen kann.

[0047] Die Mittel 12 zum Simulieren weisen vorzugsweise mehrere Simulationsmodelle, M1, M2, M3, M4, M5 auf, welche einzelne Komponenten 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f modellieren können.

[0048] Vorzugsweise modelliert das Modell M1 die Verbrennung der Brennkraftmaschine mittels mehrerer Untermodelle, welche zu einem Gesamtmodell M1 zusammengefügt werden. Beispielsweise kann der Zylinderbrennraum 4e mittels eines Zylinderbrennraummodells M1a und/oder das Abgasrückführsystem mittels eines Abgasrückführsystemmodells und/oder der Abgaskrümmer 2 mittels eines Abgaskrümmermodells M1b modelliert werden.

[0049] Eine Verrohrung im Gaspfad des Abgasstrangs 4f kann beispielsweise mittels eines Gaspfadmodells modelliert werden.

[0050] Weitere Modelle, welche entweder Teil des Verbrennungsmodells M1 sind oder, insbesondere kaskadiert wie in Fig. 1 gezeigt, als weitere eigenständige Modelle ausgebildet sind, sind vorzugsweise ein Oxidationskatalysatormodell M2 zur Simulation des Betriebs eines Oxidationskatalysators 4a, ein Partikelfiltermodell M3 zur Simulation des Betriebs eines Partikelfilters 4b, ein SCR-Katalysatormodell M4 zur Simulation des Betriebs eines SCR-Katalysators 4c und ein Ammoniakschlupfkatalysatormodell M5 zur Simulation des Betriebs eines Ammoniakschlupfkatalysators 4d.

[0051] Vorzugsweise sind die Modelle M1, M2, M3, M4, M5, wie in Fig. 1 gezeigt, hierfür kaskadiert angeordnet, so dass jeweils Eingangsgrößen von im Gaspfad stromaufwärts angeordneten Komponenten bzw. deren Modellen in die Modelle der stromabwärts angeordneten Komponenten im Gaspfad eingehen können.

[0052] Insbesondere werden hierdurch Konzentrationen von Gasen und/oder von Partikeln an den ersten Stellen, welche Messstellen von virtuellen Sensoren entsprechen, 5a, 5b, 5c, 5d, 5e bestimmt. An einer zweiten Stelle 6, einer realen Messstelle des realen Sensors 11b, kann eine Messung einer Konzentration eines Gases und/oder von Partikeln im Gaspfad vorgenommen werden.

[0053] Figur 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens 100 zum Bestimmen einer Konzentration des Gases und/oder von Partikeln an einer ersten Stelle 5a, 5b, 5c, 5d, 5e in einem Gaspfad einer Brennkraftmaschine.

[0054] In einem ersten Arbeitsschritt 101 werden vorzugsweise Messdaten wenigstens eines Betriebsparameters der Brennkraftmaschine 1 durch wenigstens einen realen Sensor 11 erzeugt.

[0055] In einem zweiten Arbeitsschritt 102 wird vorzugsweise ein Betrieb wenigstens einer Komponente 4a, 4b, 4c, 4d, 4f der Brennkraftmaschine 1 auf der Grundlage der Messdaten mittels wenigstens eines Simulationsmodells M1, M2, M3, M4, M5 simuliert.

[0056] In einem dritten Arbeitsschritt 103 wird vorzugsweise kontinuierlich eine zu erwartende Altersveränderung in Abhängigkeit von initialen Fertigungstoleranzen und/oder Einbautoleranzen in Bezug auf die wenigstens eine Komponente ermittelt. Vorzugsweise wird alternativ oder zusätzlich in dem dritten Arbeitsschritt 103 die zu erwartende Altersveränderung mittels eines Trans-

formationsmodells bestimmt, welches vorzugsweise auf einem künstlichen neuronalen Netz beruht. Hierbei kann vorzugsweise ein Trainingsverfahren zum Einsatz kommen, wie es in dem eingangs genannten Dokument WO 2019/153026 A1 beschrieben wird. Die Offenbarung des Dokuments WO 2019/1530261 A1 wird aus diesem Grund hiermit ausdrücklich zu einem Bestandteil der Offenbarung der vorliegenden Anmeldung gemacht.

[0057] In einem vierten Arbeitsschritt 104 werden in Abhängigkeit von der im dritten Arbeitsschritt 103 ermittelten Alterung Werte von Parametern des Simulationsmodells M1, M2, M3, M4, M5 auf der Grundlage der zu erwartenden Altersveränderung der wenigstens einen Komponente angepasst. Vorzugsweise werden bei der Anpassung die Werte von Parametern des Simulationsmodells nicht geändert, wenn sich im dritten Arbeitsschritt 103 die zu erwartende Altersveränderung nicht geändert hat.

[0058] In einem fünften Arbeitsschritt 105 wird ein Wert der Konzentration des Gases und und/oder der Partikel an der ersten Stelle 5a, 5b, 5c, 5d, 5e auf der Grundlage der Messdaten und des simulierten Betriebs der wenigstens einen Komponente 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f ermittelt.

[0059] Beispiele für Betriebsparameter, welche als Eingangsgröße für die Simulation herangezogen werden können, sind der Frischluftmassenstrom, welcher durch einen Frischluftmassensensor am Lufteinlass gemessen werden kann, ein Massenstrom der Abgasrückführung (AGR), welcher durch einen Sensor für den AGR-Massenstrom gemessen werden kann. Dieser ist typischerweise ein Venturisenor. Ein weiterer Parameter ist der Nockenwellenwinkel, welcher durch einen Nockenwellensensor 11a gemessen werden kann, und ein Kurbelwellenwinkel, welche über einen Kurbelwellensensor (nicht dargestellt) gemessen werden kann. Der Einspritzdruck kann als Parameter über einen Drucksensor (nicht dargestellt) im Rail bestimmt werden und die Temperatur der Ansaugluft durch einen Temperatursensor 11c im Ansaugkrümmer 3. Der Druck im Ansaugkrümmer 3 kann als Parameter mittels eines Drucksensors 11c im Ansaugkrümmer 3 gemessen werden. Der Druck im Abgaskrümmer 2 kann durch einen Drucksensor 11b im Abgaskrümmer 2 als Parameter gemessen werden, der Druck nach dem Turboladerturbine durch einen Drucksensor (nicht dargestellt) nach der Turboladerturbine, der Druck nach dem Turboladerverdichter durch einen Drucksensor (nicht dargestellt) nach dem Turboladerverdichter und der Differenzdruck über den Partikelfilter durch Drucksensoren (nicht dargestellt) vor und nach dem Partikelfilter 4b.

[0060] Das Gas, dessen Konzentration bestimmt wird, kann beispielsweise Stickoxid; Ammoniak; Kohlenwasserstoffe, inklusive Methan; oder Kohlenmonoxid sein.

[0061] Das Verbrennungsmodell M1 kann vorzugsweise auch eine Konzentration eines Gases und/oder Partikel am Ausgang 6 der Brennkraftmaschine 1 bestimmen. Vorzugsweise wird hierfür die Verbrennung der Brennkraftmaschine 1 simuliert. Der Wert der Konzentration des Gases und/oder Partikel an den ersten Stellen 5a, 5b, 5c, 5d kann dann auf der Grundlage dieser simulierten Gaszusammensetzung am Ausgang 6 ermittelt werden.

[0062] Figur 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens 200 zur Analyse wenigstens einer Komponente 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f der Brennkraftmaschine 1.

[0063] In einem ersten Arbeitsschritt 201 wird hierbei eine Konzentration eines Gases und/oder von Partikeln an einer ersten Stelle 5a, 5b, 5c, 5d, 5f in einem Gaspfad 2 der Brennkraftmaschine 1 mittels des im Vorhergehenden beschriebenen Verfahrens 100 bestimmt.

[0064] In einem zweiten Arbeitsschritt 202 werden Altersveränderungen der wenigstens einen Komponente für 4a, 4b, 4c, 4d der Brennkraftmaschine 1 auf der Grundlage von Betriebsparametern der Brennkraftmaschine 1 ermittelt.

[0065] Die Altersveränderung der Komponenten 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f wird vorzugsweise mittels eines Transformationsmodells in dem zweiten Arbeitsschritt 202 bestimmt. Dieses Transformationsmodell beruht, wie bereits oben in Bezug auf das Verfahren 100 beschrieben, vorzugsweise auf einem künstlichen neuronalen Netz, in welches verschiedene Parameter der Betriebsparameter der Brennkraftmaschine 1 als Eingangsgrößen eingehen.

[0066] In einem dritten Arbeitsschritt 203 werden die Konzentrationen des Gases und/oder die Konzentrationen der Partikel mit Altersveränderungen der wenigstens einen Komponente 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f der Brennkraftmaschine 1 korreliert.

[0067] In einem vierten Arbeitsschritt 204 wird vorzugsweise die bestimmte Konzentration eines Gases mit wenigstens einen Schwellenwert für die Konzentration verglichen. Liegt ein Überschreiten des Schwellenwert der Konzentration vor, so wird vorzugsweise am fünften Arbeitsschritt 205 jene Komponente 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f, ermittelt, welche für das Überschreiten des wenigstens einen Schwellenwerts ursächlich ist.

[0068] Hierdurch kann jene Komponente 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f ermittelt werden, die anders gesteuert, repariert oder die ausgetauscht werden muss, um den Schwellenwert wieder einhalten zu können.

[0069] Vorzugsweise können diese Informationen oder auch die Konzentration der Gase und/oder der Partikel zum Steuern der Brennkraftmaschine eingesetzt werden.

[0070] Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei den Ausführungsbeispielen lediglich um Beispiele handelt, die den Schutzbereich, die Anwendung und den Aufbau in keiner Weise einschränken sollen. Vielmehr wird dem Fachmann durch die vorausgehende Beschreibung ein Leitfaden für die Umsetzung mindestens eines Ausführungsbeispiels gegeben, wobei diverse Änderungen, insbesondere im Hinblick auf die Funktion und Anordnung der beschriebenen Bestandteile, vorgenommen werden können, ohne den Schutzbereich zu verlassen, wer sich aus den Ansprüchen und diesen äquivalenten Merkmalskombinationen gibt.

BEZUGSZEICHENLISTE

1	Brennkraftmaschine
2	Abgaskrümmmer
3	Ansaugkrümmmer
4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f	Komponente
5a, 5b, 5c, 5d, 5e	erste Stelle
6	zweite Stelle
7	Motorblock
8	Auspuffrohr
10	System
11a, 11b, 11c	Sensor
12	Mittel zum Simulieren

Patentansprüche

1. Verfahren (100) zum Bestimmen einer Konzentration eines Gases und/oder von Partikeln an einer ersten Stelle (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) in einem Gaspfad, insbesondere in einem Abgasstrang (2), einer Brennkraftmaschine (1), wobei Messdaten wenigstens eines Betriebsparameters der Brennkraftmaschine (1) durch wenigstens einen Sensor (11) erzeugt werden (101), wobei ein Betrieb wenigstens einer Komponente (4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f) der Brennkraftmaschine (1) auf der Grundlage der Messdaten mittels eines Simulationsmodells (M1, M2, M3, M4, M5) simuliert wird (102), wobei Werte von Parametern des Simulationsmodells (M1, M2, M3, M4, M5) auf der Grundlage von zu erwartenden Altersveränderungen der wenigstens einen Komponente (4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f) kontinuierlich angepasst werden (104) und wobei ein Wert der Konzentration des Gases und/oder der Partikel an der ersten Stelle (M1, M2, M3, M4, M5) auf der Grundlage der Messdaten und des simulierten Betriebs der wenigstens einen Komponente (4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f) ermittelt wird (105).
2. Verfahren (100) nach Anspruch 1, wobei die zu erwartenden Altersveränderungen in Abhängigkeit von initialen Fertigungstoleranzen und/oder Einbautoleranzen in Bezug auf die wenigstens eine Komponente (4a, 4b, 4c, 4d) ermittelt werden (103).
3. Verfahren (100) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der wenigstens eine Betriebsparameter aus der folgenden Gruppe an Betriebsparametern ausgewählt ist:
 - Dosierte Kraftstoffmenge;
 - Dosierte Harnstoffmenge;
 - Zeitpunkte und Dauer der Dosierungen;
 - Betriebsmodus Brennkraftmaschine (1);
 - Rückmeldungen der Aktoren;
 - Frischluftmassenstrom;
 - Massenstrom der Abgasrückführung;
 - Nockenwellenwinkel;
 - Kurbelwellenwinkel;
 - Einspritzdruck des Kraftstoffs;
 - Temperatur nach Ladeluftkühler;
 - Druck im Ansaugkrümmer (3);
 - Druck im Abgaskrümmer (2);
 - Druck nach Turboladerturbine;
 - Druck nach Turboladerverdichter;
 - Differenzdruck über den Partikelfilter;
 - NOx am Ausgang der Brennkraftmaschine;
 - NOx am Auspuff;
 - Lambda;
 - Temperatur in der Abgasnachbehandlung, insbesondere die einzelnen Temperaturen vor den Vorrichtungen zur Abgasnachbehandlung (4, 54b, 4c, 4d).
4. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Gas aus der folgenden Gruppe an Gasen ausgewählt ist:
 - Stickoxide;
 - Ammoniak;
 - Kohlenwasserstoffe;
 - Kohlenmonoxid.

5. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die wenigstens eine Komponente (4a, 4b, 4c, 4d) aus der folgenden Gruppe an Komponenten (4a, 4b, 4c, 4d) ausgewählt ist:
Turbolader, Ladeluftkühler, Zylinderbrennraum (4e), Oxidationskatalysator (4a), NO_x-Speicher­katalysator, Partikelfilter (4b), insbesondere Dieselpartikelfilter, SCR-Katalysator auf Partikelfilter, SCR-Katalysator (4c), Ammoniakschlupfkatalysator(4d), Verrohrung im Gas­pfad (4f).
6. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Stelle (5d) am Ende des Auspuffrohrs (8) ist.
7. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die wenigstens eine Komponente eine Vorrichtung (4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f) zur Abgasnachbehandlung im Abgas­strang ist und wobei, je nach Lage der ersten Stelle (5a, 5b, 5c, 5d) im Abgasstrang (2), wenigstens eine Vorrichtung (4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f) einer Mehrzahl an Vorrichtungen zur Abgasnachbehandlung, welche in dem Abgasstrang (2) stromaufwärts in Bezug auf die erste Stelle (5a, 5b, 5c, 5d) angeordnet ist, zum Ermitteln des Werts der Konzentration des Gases simuliert wird.
8. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Sensor (11) an einer zweiten Stelle (6a, 6b, 6c, 6d) des Gaspfads angeordnet ist, wobei die erste Stelle (5a, 5b, 5c, 5d) im Gaspfad stromaufwärts der wenigstens einen Komponente (4a, 4b, 4c, 4d), welche im Gaspfad stromaufwärts der zweiten Stelle (6a, 6b, 6c, 6d) liegt, liegt oder wobei die erste Stelle (5a, 5b, 5c, 5d) im Gaspfad stromabwärts der wenigstens einen Komponente (4a, 4b, 4c, 4d), welche im Gaspfad stromabwärts der zweiten Stelle (6a, 6b, 6c, 6d) liegt, liegt.
9. Verfahren (200) zur Analyse wenigstens einer Komponente (4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f) einer Brennkraftmaschine (1), die folgenden Arbeitsschritte aufweisend:
Bestimmen (201) einer Konzentration eines Gases und/ von Partikeln an einer ersten Stelle (5a, 5b, 5c, 5d, 5f) in einem Gaspfad (2) mittels eines Verfahrens (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 8;
Ermitteln (202) von Alterungsveränderungen der wenigstens einer Komponente (4a, 4b, 4c, 4d) der Brennkraftmaschine (1) auf der Grundlage von Betriebsparametern der Brennkraft­maschine (1); und
Korrelieren (203) der Konzentration des Gases und/oder der Partikel mit Alterungsverände­rungen der wenigstens einen Komponente (4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f) der Brennkraftmaschine (1).
10. Verfahren (200) nach Anspruch 11, des Weiteren die folgenden Arbeitsschritte aufweisend:
Vergleichen (204) der bestimmten Konzentration eines Gases mit wenigstens einem Schwel­lenwert der Konzentration; und
Ermitteln (205) der wenigstens einen Komponente (4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f) der Brennkraftma­schine (1), welche für ein Überschreiten des wenigstens einen Schwellenwerts ursächlich ist.
11. Verfahren (100, 200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die zu erwartenden Alterungsveränderungen mittels eines Transformationsmodells bestimmt werden (103, 202), welches vorzugsweise auf einem künstlichen neuronalen Netz beruht.
12. Verfahren zum Steuern einer Brennkraftmaschine (1), wobei beim Steuern eine Konzentra­tion eines Gases und/oder von Partikeln an einer ersten Stelle (5a, 5b, 5c, 5d) in einem Gaspfad der Brennkraftmaschine (1) berücksichtigt wird, wobei Werte der Konzentration mit­tels eines Verfahrens (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, vorzugsweise in Verbindung mit Anspruch 11, ermittelt werden.

13. System (10) zum Bestimmen einer Konzentration eines Gases und/oder von Partikeln an einer ersten Stelle (5a, 5b, 5c, 5d) in einem Gaspfad, insbesondere im Abgasstrang (2), einer Brennkraftmaschine (1), aufweisend:
 - wenigstens einen Sensor (11) zum Erzeugen von Messdaten an einer zweiten Stelle (6) des Gaspfads;
 - Mittel (12) zum Simulieren eines Betriebs wenigstens einer Komponente (4a, 4b, 4c, 4d) der Brennkraftmaschine auf der Grundlage der Messdaten mittels eines Simulationsmodells (M1, M2, M3, M4, M5), wobei Werte von Parametern des Simulationsmodells auf der Grundlage von zu erwartenden Altersveränderungen der wenigstens einen Komponente (4a, 4b, 4c, 4d) kontinuierlich angepasst werden; und
 - Mittel zum Ermitteln eines Werts der Konzentration des Gases und/oder der Partikel an der ersten Stelle (5a, 5b, 5c, 5d) auf der Grundlage der Messdaten und des simulierten Betriebs der wenigstens einen Komponente (4a, 4b, 4c, 4d).
14. Computerprogramm oder Computerprogrammprodukt, wobei das Computerprogramm oder Computerprogrammprodukt, insbesondere auf einem computerlesbaren und/oder nicht-flüchtigen Speichermedium gespeicherte, Anweisungen enthält, welche, wenn sie von einem Computer oder einem System (10) nach Anspruch 13 ausgeführt werden, den Computer oder das System (10) dazu veranlassen, die Schritte eines Verfahrens (100, 200) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12 auszuführen.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

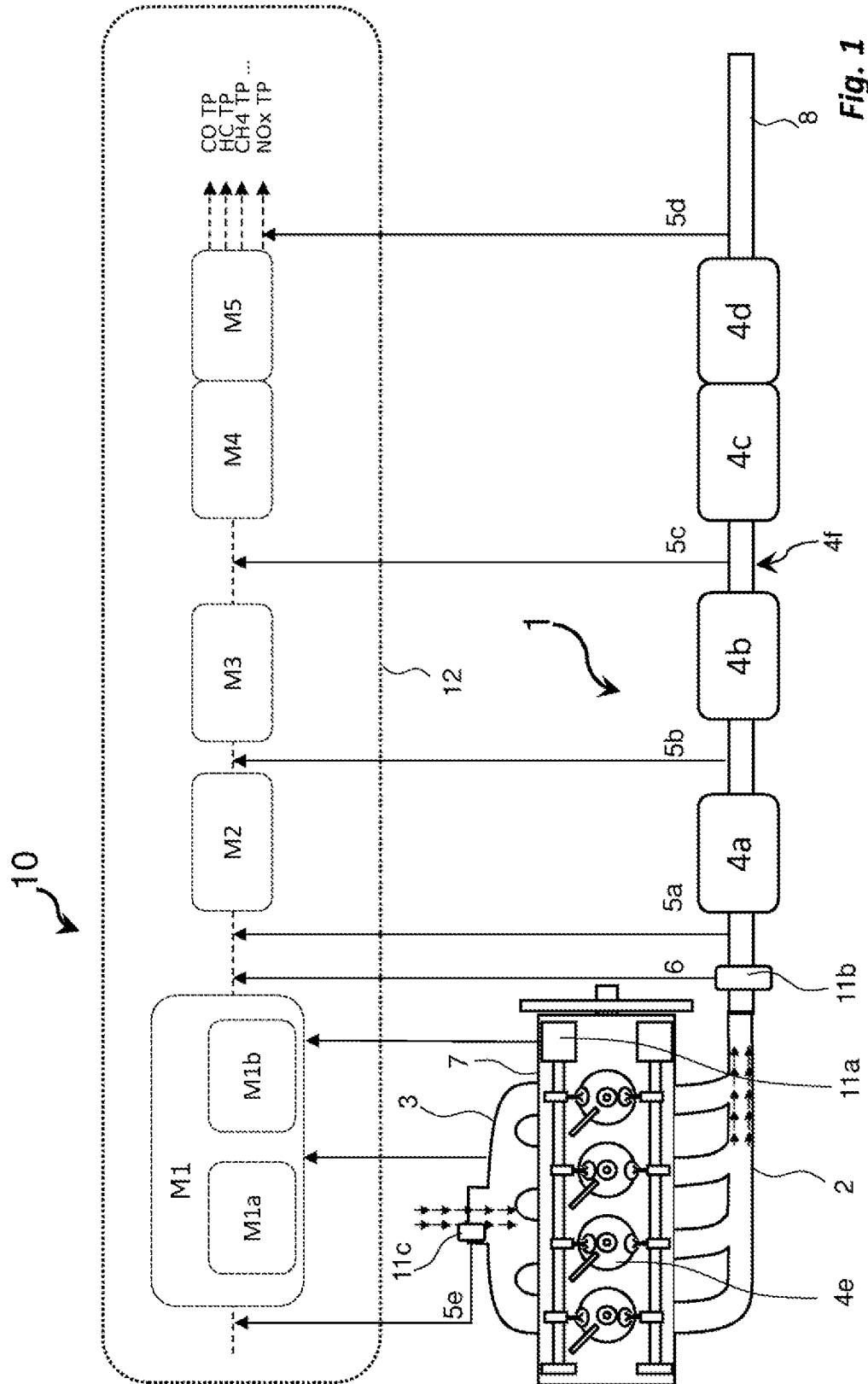
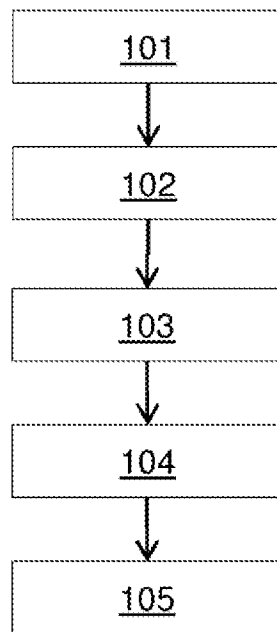


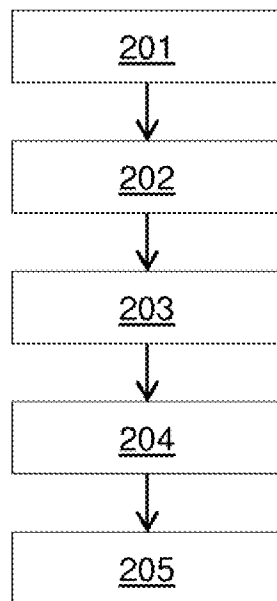
Fig. 1

2/2



100

Fig. 2



200

Fig. 3