

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer:

A 50934/2018

(22) Anmeldetag:

31.10.2018

(45) Veröffentlicht am:

15.10.2020

(51) Int. Cl.:

F02D 41/14

G05B 17/02

G05B 13/04

(2006.01)

(2006.01)

(2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:

EP 1150186 A1

WO 2013131836 A2

EP 1703110 A1

WO 2016170063 A1

(73) Patentinhaber:

AVL List GmbH

8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:

Luef Reinhard Dipl.Ing. Dr.

8052 Graz (AT)

(74) Vertreter:

Hartinger Mario Dipl.Ing.

8020 Graz (AT)

(54) Verfahren und System zur Simulation einer von einer Brennkraftmaschine emittierten Partikelanzahl

(57) Die Erfindung betrifft ein computergestütztes Verfahren (100) zur Simulation einer von einer Brennkraftmaschine emittierten Partikelanzahl, wobei die bei einem Verbrennungsprozess in der Brennkraftmaschine emittierte Partikelanzahl mittels eines empirischen Simulationsmodells beschrieben wird, welches Betriebsparameter der Brennkraftmaschine als Eingangsparameter und wenigstens die Partikelanzahl als Ausgangsparameter aufweist, wobei das empirische Simulationsmodell auf der Grundlage von Messungen an der Brennkraftmaschine beruht, folgende Arbeitsschritte aufweisend:

- Ermitteln (101a) eines ersten Betriebsparameters der Brennkraftmaschine, insbesondere eines Lastgradienten;
- Prüfen (102), ob der erste Betriebsparameter innerhalb oder außerhalb eines vordefinierten Wertebereichs liegt, welcher eine Dynamik des Betriebs der Brennkraftmaschine charakterisiert; und
- Bestimmen (103), falls der erste Betriebsparameter außerhalb des vordefinierten Wertebereichs liegt, der Partikelanzahl mittels eines empirischen Simulationsmodells; oder

- Bestimmen (106), falls der erste Betriebsparameter innerhalb des vordefinierten Wertebereichs liegt der Partikelanzahl mittels eines modifizierten Simulationsmodells, welches auf dem empirischen Simulationsmodell beruht; und
- Ausgeben (107) der Partikelanzahl

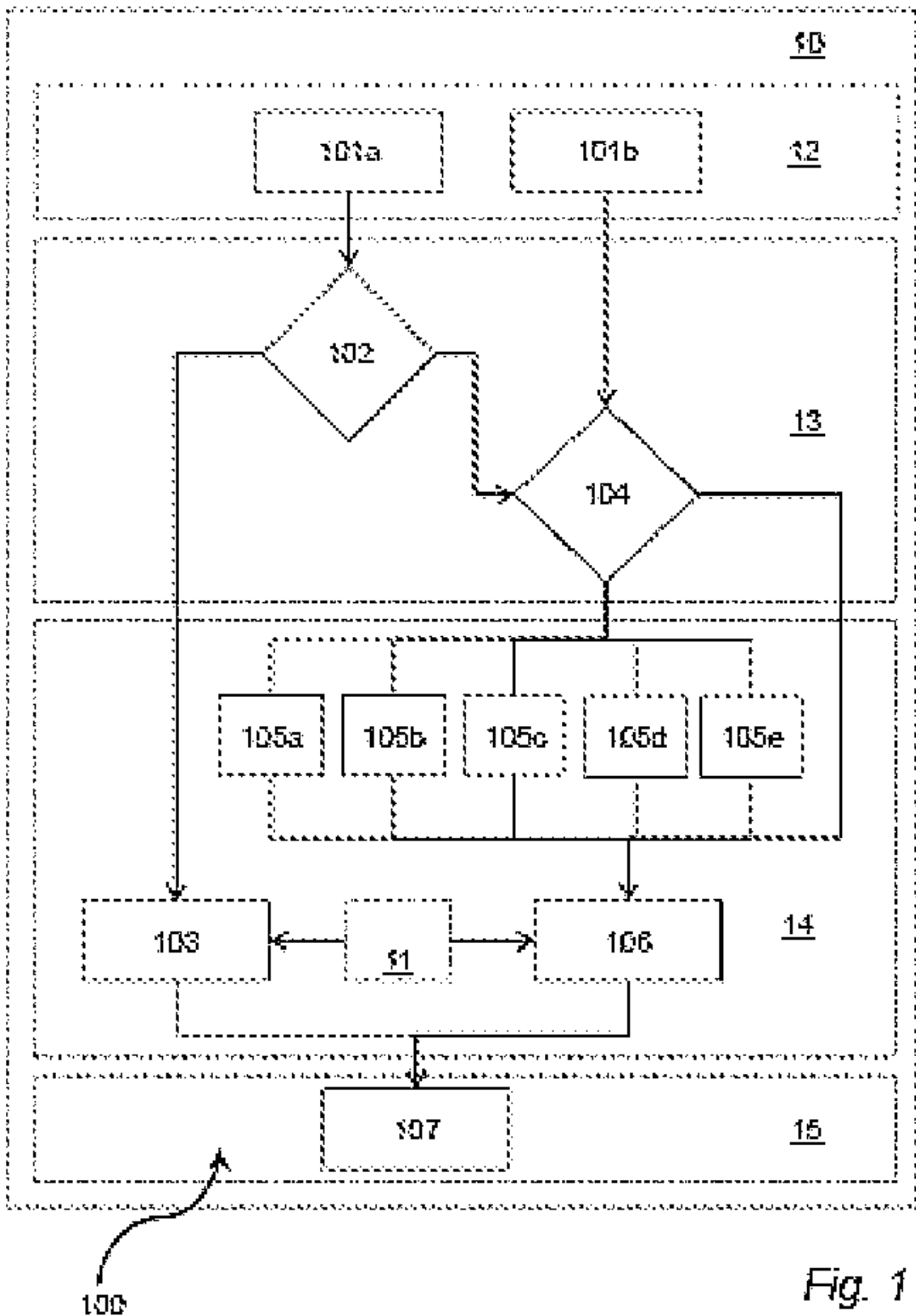


Fig. 1

Beschreibung

VERFAHREN UND SYSTEM ZUR SIMULATION EINER VON EINER BRENNKRAFTMASCHINE EMITTIERTEN PARTIKELANZAHL

[0001] Die Erfindung betrifft ein computergestütztes Verfahren zur Simulation einer von einer Brennkraftmaschine emittierten Partikelanzahl, wobei die bei einem Verbrennungsprozess in der Brennkraftmaschine emittierte Partikelanzahl mittels eines empirischen Simulationsmodells beschrieben wird, welches Betriebsparameter der Brennkraftmaschine als Eingangsparameter und wenigstens die Partikelanzahl als Ausgangsparameter aufweist, und das empirische Simulationsmodell auf der Grundlage von Messungen an der Brennkraftmaschine beruht.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Ansätze zur modellbasierten Optimierung von technischen Einrichtungen bekannt. Insbesondere im Bereich der Optimierung bei der Entwicklung oder Kalibrierung von Verbrennungskraftmaschinen kommen hierbei Verfahren wie folgt zur Anwendung:

[0003] Das Dokument EP 1 150 186 A1 betrifft ein Verfahren zur automatischen Optimierung einer Ausgangsgröße eines von mehreren Eingangsgrößen abhängigen Systems, beispielsweise einer Brennkraftmaschine, unter Einhaltung von Nebenbedingungen, wobei ein theoretischer Wert für die Ausgangsgröße und die Nebenbedingungen anhand einer Modellfunktion mit den Eingangsgrößen als Variablen bestimmt werden und dabei in aufeinanderfolgenden Einzelschritten jeweils eine der Eingangsgrößen innerhalb eines Variationsraums verändert wird. Den jeweiligen Eingangsgrößen entsprechende Werte für Ausgangsgrößen und Nebenbedingungen werden direkt am System ermittelt und zur Korrektur der Modellfunktionen herangezogen, bis die Modellfunktionen die Nebenbedingungen erfüllen und Optimalwerte für die Ausgangsgröße erreichen.

[0004] Das Dokument WO 2013/131836 A2 betrifft ein Verfahren zur Optimierung von Verbrennungskraftmaschinen, insbesondere zur Emissions- und Verbrauchsoptimierung, bei welchen über Korrekturfunktionen in ihren Steuergeräten in jedem durch die Parameter Temperatur, Last- und Drehzahl gegebenen Betriebspunkt zumindest eine der Nebeneinflussgrößen derart eingestellt wird, dass in unterschiedlichen Last-Drehzahlbereichen und in unterschiedlichen Temperaturbereichen die Emissionsgrenzwerte eingehalten werden. Bei einem ersten Schritt wird ein Versuchsband für die Betriebspunkte und Nebeneinflussgrößen unter Verwendung mathematischer Modelle der Steuergerätefunktion und der Verbrennungskraftmaschine in Bezug auf die zu optimierende Größe erstellt und am Prüfstand abgefahren, in einem zweiten Schritt aus den dabei am Prüfstand gemessenen Daten ein Modell für jede zu optimierende Größe erstellt und in einem dritten Schritt werden, basierend auf diesem erstellten Modell, die optimalen Werte der Nebeneinflussgrößen unter Einhaltung der Emissionsgrenzwerte bestimmt und diese Werte zur Erstbedatung der Korrekturfunktionen vom Steuergerät herangezogen.

[0005] Das Dokument EP 1 703 110 A1 betrifft ein Verfahren zur Optimierung der Kalibrierung von Verbrennungsmotoren unter Berücksichtigung dynamischer Zustandsänderungen des Motors und unter Verwendung eines neuronalen Netzwerks, wobei der Kalibrierungstest von einer Startbedingung startet und zur Kalibrierung definierte Veränderungen der Parameter eingestellt werden.

[0006] Das Dokument WO 2016/170063 A1 offenbart ein Verfahren und System zur modellbasierten Optimierung oder Kalibrierung. Die Rußemission kann dort über empirische Modelle bestimmt werden.

[0007] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, den Entwicklungsprozess für Antriebsstränge zu verbessern. Insbesondere ist es eine Aufgabe der Erfindung, die modellbasierte Emissionskalibrierung eines Antriebsstrangs, insbesondere einer Brennkraftmaschine, zu verbessern.

[0008] Diese Aufgabe wird durch ein computergestütztes Verfahren mit einem System gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen werden in den abhängigen

Ansprüchen beansprucht.

[0009] Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein computergestütztes Verfahren zur Simulation einer von einer Brennkraftmaschine emittierten Partikelanzahl, wobei die bei einem Verbrennungsprozess in der Brennkraftmaschine emittierte Partikelanzahl mittels eines empirischen Simulationsmodells beschrieben wird, welches Betriebsparameter der Brennkraftmaschine als Eingangsparameter und wenigstens die Partikelanzahl als Ausgangsparameter aufweist, wobei das empirische Simulationsmodell auf der Grundlage von Messungen an der Brennkraftmaschine beruht, mehrere oder alle der folgenden Arbeitsschritte aufweisend:

[0010] - Ermitteln eines ersten Betriebsparameters der Brennkraftmaschine, insbesondere eines Lastgradienten;

[0011] - Prüfen, ob der erste Betriebsparameter innerhalb oder außerhalb eines vordefinierten Wertebereichs liegt, welcher eine Dynamik des Betriebs der Brennkraftmaschine charakterisiert;

[0012] - Bestimmen, falls der erste Betriebsparameter außerhalb des vordefinierten Wertebereichs liegt, der Partikelanzahl mittels eines empirischen Simulationsmodells; oder, falls der erste Betriebsparameter innerhalb des vordefinierten Wertebereichs liegt, der Partikelanzahl mittels eines modifizierten Simulationsmodells, welches auf dem empirischen Simulationsmodell beruht;

[0013] - Ausgeben der Partikelanzahl.

[0014] Vorzugsweise kann die ausgegebene Partikelanzahl zur Kalibrierung, Optimierung und/oder Steuerung der realen oder simulierten Brennkraftmaschine und/oder deren Steuerung eingesetzt werden. Weiter vorzugsweise kann das Verfahren daher einen Arbeitsschritt des Kalibrierens, Optimierens und/oder Steuerns der realen oder simulierten Brennkraftmaschine auf der Grundlage der bestimmten Partikelanzahl aufweisen.

[0015] Ein Ausgeben im Sinne der Erfindung ist insbesondere ein Bereitstellen an einer Datenschnittstelle und/oder einer Benutzerschnittstelle.

[0016] Ein Ermitteln im Sinne der Erfindung ist insbesondere ein Simulieren, ein Messen und/oder ein Einlesen. Ein Bestimmen im Sinne der Erfindung ist insbesondere ein Berechnen oder Nachschlagen, beispielsweise in einer Look-up-Tabelle.

[0017] Ein Wertebereich im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise durch zwei Schwellwerte oder auch durch einen Schwellwert definiert und kann zu einer der Seiten des einen Schwellwerts gegen Null oder Unendlich offen sein. Ein Wertebereich kann insbesondere auch zwei Unterwertebereiche aufweisen.

[0018] Die Erfindung beruht insbesondere auf der Erkenntnis, dass die Partikelemission durch eine Berücksichtigung dynamischer Anteile zur Simulation eines Antriebsstrangs wesentlich realitätsnäher abgebildet werden kann. Erfindungsgemäß wird daher, wenn ein erster Betriebsparameter, welcher die Dynamik des Betriebs der Brennkraftmaschine charakterisiert, insbesondere der Lastgradient, in einem vorgegebenen Wertebereich liegt, ein modifiziertes Simulationsmodell, welches auf dem empirischen Simulationsmodell beruht, angewandt.

[0019] In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist das modifizierte Simulationsmodell durch Modifizieren des empirischen Simulationsmodells mittels einer Korrekturfunktion bestimmt, wobei die Korrekturfunktion vorzugsweise als Korrekturparameter, insbesondere als Korrekturfaktor, mit dem empirischen Simulationsmodell verrechnet ist.

[0020] Das Anwenden einer Korrekturfunktion zur Berücksichtigung der Dynamik des Motorbetriebs ermöglicht eine besonders flexible Anpassung des empirischen Simulationsmodells an verschiedene Dynamiksituationen und -verläufe. Hierdurch kann ein besonders realitätsnahes Simulationsergebnis erzielt werden.

[0021] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Korrekturfunktion zeitabhängig und/oder der Korrekturparameter kann einen Wert zwischen 1 und

einem vordefinierten Maximalwert annehmen.

[0022] Auch durch die Zeitabhängigkeit und einen in Abhängigkeit von der Zeit oder einem anderen Parameter abhängigen Funktionswert kann eine besonders realitätsnahe Simulation erzielt werden.

[0023] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens hängt die Korrekturfunktion von dem ersten, insbesondere gefilterten, Betriebsparameter ab, wobei vorzugsweise in Abhängigkeit von dem ersten Betriebsparameter einer aus wenigstens zwei Verläufen und/oder einer aus wenigstens zwei Maximalwerten für die Korrekturfunktion ausgewählt wird, welche jeweils eine langsame Dynamik und eine schnelle Dynamik charakterisieren.

[0024] Der Erfinder hat festgestellt, dass es für die Partikelanzahl insbesondere ausschlaggebend ist, wie schnell eine Dynamik verläuft. Um dennoch ein Modell mit einer relativ geringen Komplexität zu erreichen und insbesondere dessen Anwendbarkeit in einer echtzeitfähigen Entwicklungsumgebung (z.B. Hardware-in-the-Loop) zu gewährleisten, hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, zwischen zwei Dynamik-Verläufen zu unterscheiden.

[0025] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein erster Verlauf und/oder ein erster Maximalwert ausgewählt, wenn der erste Betriebsparameter innerhalb des vordefinierten Wertebereichs einen ersten vordefinierten Teilwertebereich annimmt, welcher der langsameren Dynamik entspricht, oder wobei ein zweiter Verlauf und/oder ein zweiter Maximalwert ausgewählt wird, wenn der erste Betriebsparameter innerhalb des vordefinierten Wertebereichs einen zweiten vordefinierten Teilwertebereich annimmt, welcher der schnelleren Dynamik entspricht.

[0026] Vorteilhafterweise charakterisiert der erste Betriebsparameter auch die Schnelligkeit der Dynamik. Daher ist der erste vordefinierte Teilwertebereich vorzugsweise im Wesentlichen niedriger als der zweite vordefinierte Teilwertebereich und der erste Verlauf ist vorzugsweise gedämpfter als der zweite Verlauf und/oder der zweite Maximalwert höher als der erste Maximalwert. Der Verlauf und der Maximalwert in dem jeweiligen Teilwertbereich hängen jedoch von dem zugrundeliegenden empirischen Simulationsmodell des jeweiligen Motors ab, so dass die angegebenen Verhältnisse auch umgekehrt sein können.

[0027] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens hängt die Korrekturfunktion von einem zweiten Betriebsparameter, insbesondere der Kühlmitteltemperatur, ab, wobei das Verfahren des Weiteren den Arbeitsschritt aufweist:

[0028] - Prüfen, ob der zweite Betriebsparameter innerhalb eines ersten vordefinierten Wertebereichs liegt, welcher das Vorliegen der Betriebstemperatur der Brennkraftmaschine kennzeichnet;

wobei wenigstens ein Verlauf der Korrekturfunktion gedämpft und/oder wenigstens ein Maximalwert der Korrekturfunktion verringert wird, wenn der zweite Betriebsparameter innerhalb des ersten vordefinierten Wertebereichs liegt.

[0029] Der Erfinder hat festgestellt, dass das Berücksichtigen einer Korrekturfunktion zum Erzeugen des modifizierten empirischen Simulationsmodells eine besondere realitätsnahe Simulation ergibt, wenn die Korrekturfunktion zusätzlich von einem zweiten Betriebsparameter abhängt. Als besonders charakteristische Abhängigkeit der emittierten Partikelanzahl wurde die Betriebstemperatur der Brennkraftmaschine identifiziert, welche vorzugsweise über die Kühlmitteltemperatur festgestellt werden kann. Ist eine solche Betriebstemperatur der Brennkraftmaschine erreicht, wird eine geringere Partikelanzahl ausgestoßen.

[0030] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in Abhängigkeit von dem zweiten Betriebsparameter einer aus wenigstens zwei Verläufen und/oder einer aus wenigstens zwei Maximalwerten für die Korrekturfunktion ausgewählt, welche jeweils einen Kaltstart und eine Aufwärmphase charakterisieren.

[0031] Als besonders vorteilhaft hat es sich auch erwiesen, für Kaltstart und Aufwärmphase verschiedene Verläufe und/oder Maximalwerte zu wählen. Die Temperatur in der Aufwärmphase

liegt hierbei vorzugsweise deutlich unter dem Bereich der Betriebstemperatur der Brennkraftmaschine.

[0032] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Korrekturfunktion von einem zweiten Betriebsparameter, insbesondere der Kühlmitteltemperatur, abhängig, wobei das Verfahren des Weiteren die folgenden Arbeitsschritte aufweist:

[0033] Prüfen, ob der zweite Betriebsparameter innerhalb eines zweiten vordefinierten Wertebereichs, welcher eine Aufwärmphase der Brennkraftmaschine charakterisiert, oder innerhalb eines dritten vordefinierten Wertebereichs, welcher eine Kaltstartphase der Brennkraftmaschine kennzeichnet, liegt; und

Auswählen eines dritten Verlaufs und/oder eines dritten Maximalwerts, wenn der erste Betriebsparameter einen ersten vordefinierten Teilwertebereich innerhalb des vordefinierten Wertebereichs annimmt („langsam“), welcher einer langsameren Dynamik entspricht, und der zweite Betriebsparameter innerhalb des zweiten vordefinierten Wertebereichs liegt (Aufwärmphase); oder Auswählen eines vierten Verlaufs und/oder eines vierten Maximalwerts, wenn der erste Betriebsparameter einen ersten vordefinierten Teilwertebereich innerhalb des vordefinierten Wertebereichs annimmt („langsam“) und der zweite Betriebsparameter innerhalb des dritten vordefinierten Wertebereichs liegt (Kaltstartphase); oder

Auswählen eines fünften Verlaufs und/oder eines fünften Maximalwerts, wenn der erste Betriebsparameter einen zweiten vordefinierten Teilwertebereich innerhalb des vordefinierten Wertebereichs annimmt („schnell“), welcher der schnelleren Dynamik entspricht, und der zweite Betriebsparameter innerhalb des zweiten vordefinierten Wertebereichs liegt (Aufwärmphase); oder

Auswählen eines sechsten Verlaufs und/oder sechstens Maximalwerts, wenn der erste Betriebsparameter einen zweiten vordefinierten Teilwertebereich innerhalb des vordefinierten Wertebereichs annimmt („schnell“) und der zweite Betriebsparameter innerhalb des dritten vordefinierten Wertebereichs liegt (Kaltstartphase).

[0034] Der Erfinder hat festgestellt, dass die Berücksichtigung der Ähnlichkeit der Dynamik und der jeweiligen Temperatur im Betrieb der Brennkraftmaschine korreliert sind, so dass theoretisch eine Korrekturfunktion als mehrdimensionales Kennfeld ausgebildet sein müsste. Um das Verfahren zu vereinfachen, werden, wie im Vorhergehenden definiert, vorzugsweise lediglich vier Fälle der multivarianten Abhängigkeit unterschieden.

[0035] Vorzugsweise ist der erste vordefinierte Teilwertebereich des ersten Betriebsparameters daher im Wesentlichen niedriger wie der zweite vordefinierte Teilwertebereich und wobei der zweite vordefinierte Wertebereich des zweiten Betriebsparameters im Wesentlichen höher ist als der dritte vordefinierte Wertebereich; der zweite und der dritte vordefinierte Wertebereich des zweiten Betriebsparameters sind vorzugsweise niedriger als ein erster vordefinierter Wertebereich und der dritte Verlauf ist vorzugsweise gedämpfter als der vierte Verlauf; der vierte Verlauf ist vorzugsweise gedämpfter als der fünfte Verlauf, und der fünfte Verlauf ist vorzugsweise gedämpfter als der sechste Verlauf; der dritte Maximalwert ist vorzugsweise niedriger als der vierte Maximalwert, der vierte Maximalwert ist vorzugsweise niedriger als der fünfte Maximalwert, der fünfte Maximalwert ist vorzugsweise niedriger als der sechste Maximalwert. Der Verlauf und der Maximalwert in dem jeweiligen Teilwertbereich hängen jedoch von dem zugrundeliegenden empirischen Simulationsmodell des jeweiligen Motors ab, so dass die angegebenen Verhältnisse auch umgekehrt sein können.

[0036] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird wenigstens ein Verlauf der Korrekturfunktion verstärkt und/oder wenigstens ein Maximalwert der Korrekturfunktion erhöht, wenn der erste Betriebsparameter innerhalb des ersten oder zweiten vordefinierten Teilwertebereichs liegt.

[0037] Im Allgemein hat der Erfinder festgestellt, dass eine Dynamik, unabhängig von der Temperatur des Betriebs der Brennkraftmaschine, eine erhöhte Partikelanzahl bei der Emission zur Folge hat. Dies wird hiermit berücksichtigt.

[0038] Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft ein System zur Simulation einer von einer

Brennkraftmaschine emittierten Partikelanzahl, aufweisend:

[0039] Speichermittel, in welchem ein empirisches Simulationsmodell hinterlegt oder hinterlegbar ist, welches die bei einem Verbrennungsprozess in der Brennkraftmaschine emittierte Partikelanzahl beschreibt, welches Betriebsparameter der Brennkraftmaschine als Eingangsparameter und wenigstens die Partikelanzahl als Ausgangsparameter aufweist und welches auf der Grundlage von Messungen an der Brennkraftmaschine beruht;

[0040] Mittel zum Ermitteln eines ersten Betriebsparameters der Brennkraftmaschine, insbesondere eines Lastgradienten;

[0041] Mittel zum Prüfen, ob der erste Betriebsparameter innerhalb eines vordefinierten Wertebereichs liegt; und

[0042] Mittel zum Bestimmen, falls der erste Betriebsparameter außerhalb des vordefinierten Wertebereichs liegt, der Partikelanzahl mittels des empirischen Simulationsmodells oder zum Bestimmen, falls der erste Betriebsparameter innerhalb des vordefinierten Wertebereichs liegt, der Partikelanzahl mittels eines modifizierten Simulationsmodells, welches auf dem empirischen Simulationsmodell beruht; und

[0043] eine Schnittstelle zum Ausgeben der Partikelanzahl.

[0044] Ein Mittel im Sinne der vorliegenden Erfindung kann hard- und/oder softwaretechnisch ausgebildet sein, 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 in einem 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, so dass die CPU die Schritte solcher Verfahren ausführen kann und damit insbesondere eine Hubkolbenmaschine steuern und/oder überwachen kann. Insbesondere können die Mittel als sogenannte Controller ausgebildet sein.

[0045] Die im Vorhergehenden beschriebenen Merkmale und Vorteile in Bezug auf den ersten Aspekt der Erfindung gelten ebenso für den zweiten Aspekt der Erfindung und umgekehrt.

[0046] Weitere Merkmale und Vorteile ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung in Bezug auf die Figuren. Diese zeigen wenigstens teilweise schematisch:

[0047] Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens und eines Systems zur Simulation einer von einer Brennkraftmaschine emittierten Partikelanzahl; und

[0048] Fig. 2 ein Diagramm einer Korrekturfunktion zum Modifizieren eines empirischen Simulationsmodells.

[0049] Anhand der Fig. 1 wird ein Verfahren zur Simulation einer von einer Brennkraftmaschine emittierten Partikelanzahl sowie ein System 10, welches zum Ausführen eines solchen Verfahrens 100 geeignet ist, erläutert.

[0050] Zur Simulation der Partikelanzahl wird vorzugsweise ein empirisches Simulationsmodell aufgestellt. Dieses wird auf der Grundlage einer Vielzahl von stationären Messungen der Brennkraftmaschine oder an einem Fahrzeug auf einem Prüfstand ermittelt. Als Prüfstand kommen beispielsweise ein Motorenprüfstand oder auch ein Antriebsstrangprüfstand oder ein Rollenprüfstand in Frage.

[0051] Des Weiteren werden auf der Grundlage der bei den stationären Messungen erhaltenen Messdaten die Eingangsparameter in das empirische Simulationsmodell festgelegt. Diese Eingangsparameter können vorzugsweise mittels einer Sensitivitätsanalyse ermittelt werden. Als mögliche Parameter kommen hierbei das Luftverhältnis λ , der Einspritzzeitpunkt (SOI) und

der Brennbeginn (SOC) in Frage. Als Eingangsparameter können vorzugsweise auch andere oder weitere Betriebsparameter einer Brennkraftmaschine eingesetzt werden. Vorzugsweise werden die Zeitpunkte hierbei als Abstand zum oberen Kurbelwellentotpunkt (Zünd-OT) angegeben.

[0052] Bei der Erzeugung des empirischen Simulationsmodells wird eine Zuordnungsvorschrift zwischen den Eingangsparametern und der Partikelanzahl als Ausgangsparameter aufgestellt. Dazu werden aus der Vielzahl von Messungen mittels Fitting-Verfahren vorzugsweise Näherungsfunktionen erzeugt, welche die Grundlage für das empirische Simulationsmodell bilden. Diese Näherungsfunktionen sind vorzugsweise polynomiale Funktionen und des Weiteren vorzugsweise kubisch bis zur 4. Ordnung.

[0053] In dem empirischen Simulationsmodell wird vorzugsweise auch die Einspritzstrategie berücksichtigt, insbesondere ob es sich dabei um eine einzelne, doppelte oder Dreifach-Einspritzung handelt.

[0054] Um den jeweiligen Wert der Partikelanzahl zu ermitteln, wird bzw. werden vorzugsweise zunächst ein oder mehrere Werte eines Lastgradienten als erster Betriebsparameter der Brennkraftmaschine ermittelt, 101a. Der Lastgradient gibt hierbei die Änderung der von der Brennkraftmaschine abgerufenen Leistung an und kann daher gut zur Charakterisierung von verschiedenen Emissionszuständen der Brennkraftmaschine verwendet werden. Der Lastgradient kann hierbei vorzugsweise direkt an der Brennkraftmaschine ermittelt werden. Weiter vorzugsweise kann dieser aber auch indirekt aus einem weiteren Betriebsparameter, beispielsweise einer Änderung des Luftmassenstroms in der Brennkraftmaschine, insbesondere des Luftmassenstroms im Ansaugtrakt und/oder im Abgasstrang, ermittelt werden.

[0055] Das Ermitteln eines jeweiligen Betriebsparameters kann hierbei vorzugsweise durch Simulieren, insbesondere als Ausgangswert einer Simulation einer Brennkraftmaschine, mittels Messen an einer realen Brennkraftmaschine oder auch einfach durch Einlesen von Werten an einer Datenschnittstelle geschehen. Vorzugsweise weist ein System 10 zur Simulation einer von einer Brennkraftmaschine emittierten Partikelanzahl hierfür eine Simulationseinrichtung, eine Messeinrichtung oder auch eine Datenschnittstelle zum Einlesen von Daten 12 auf.

[0056] In einem weiteren Arbeitsschritt 102 wird geprüft, ob der ermittelte Lastgradient innerhalb oder außerhalb eines vordefinierten Wertebereichs liegt.

[0057] Hierfür weist das System 10 vorzugsweise Mittel zum Prüfen auf, ob der erste Betriebsparameter innerhalb eines vordefinierten Wertebereichs liegt. Das Mittel 13 zum Prüfen ist vorzugsweise ein Modul einer Recheneinrichtung, insbesondere einer Logikschaltung.

[0058] Vorzugsweise wird hierfür der Lastgradient mittels eines Mittelwertfilters, welcher den gleitenden Durchschnittswert des Lastgradienten ermittelt, gefiltert. Durch die Filterung wird ein robusteres Feststellen eines dynamischen Betriebs der Brennkraftmaschine gewährleistet. Dies ist insbesondere auf virtuellen Prüfständen oder Hardware-in-the-Loop-Umgebungen und/oder beim Verarbeiten von möglicherweise verrauschten Signalen von Vorteil.

[0059] Durch das Anwenden eines Mittelwertfilters verlieren Einzelwerte, welche lokale Abweichungen aufweisen, sogenannte Ausreißer, beim Feststellen eines dynamischen Betriebs an Bedeutung.

[0060] Vorzugsweise erfolgt die Filterung bzw. Glättung des Lastgradienten unmittelbar am Lastsignal oder an jenem Betriebsparameter der Signale, aus welchem der Lastgradient hergeleitet wird, insbesondere dem Luftmassenstrom bzw. der Änderung des Luftmassenstroms.

[0061] Da die Dynamik einen relativ großen Betriebsbereich der Brennkraftmaschine definiert, wird vorzugsweise in dem dynamischen Betriebsbereich nochmals zwischen einer sogenannten schnelleren Dynamik und einer sogenannten langsameren Dynamik unterschieden. Diese werden vorzugsweise innerhalb des vordefinierten Wertebereichs, welcher die Dynamik des Betriebs der Brennkraftmaschine charakterisiert, nochmals durch zwei vordefinierte Teilwertebereiche festgelegt.

[0062] Vorzugsweise kommen für jede der beiden zu unterscheidenden Arten von Dynamik zwei

verschiedene Mittelwertfilter zum Einsatz. Diese unterscheiden sich insbesondere durch verschiedene Mittelungszeiten. So wird zur Berechnung des gleitenden Durchschnitts bei einer schnelleren Dynamik vorzugsweise eine Mittelungszeit von 100 ms eingesetzt. Bei einer Berechnung des gleitenden Mittelwerts für eine langsamere Dynamik wird dagegen vorzugsweise eine Mittelungszeit von etwa 300 ms eingesetzt.

[0063] Die schnellere Dynamik betrifft dabei hauptsächlich Betriebsbereiche des Startens, insbesondere auch der Wiederholstarts der Brennkraftmaschine bei Start/Stop-Systemen, und von schnellen Beschleunigungen, bei welchen jeweils relativ hohe Werte des Lastgradienten auftreten. Die langsamere Dynamik betrifft dagegen eher Betriebsbereiche, welche moderaten Beschleunigungsvorgängen entsprechen.

[0064] Wird eine Dynamik festgestellt, so wird die Partikelanzahl vorzugsweise in einem Arbeitsschritt 106 mittels eines modifizierten Simulationsmodells bestimmt.

[0065] Sowohl das empirische Simulationsmodell wie auch das modifizierte Simulationsmodell sind vorzugsweise in einem Speichermittel 11, welches insbesondere als nicht-flüchtiger Datenspeicher ausgebildet ist, abgelegt.

[0066] Das modifizierte Simulationsmodell beruht auf dem empirischen Simulationsmodell, wird jedoch mit einer Korrekturfunktion f verrechnet. Die Korrekturfunktion kann dabei vorzugsweise als Korrekturparameter oder auch Korrekturfaktor ausgebildet sein.

[0067] Vorzugsweise ist die Korrekturfunktion, wie in Fig. 2 gezeigt, zeitabhängig. Die Korrekturfunktion f bzw. deren Verlauf deckt dabei eine Zeitspanne einer Dynamik ab, in der eine Überhöhung wirksam wird.

[0068] Wie in Fig. 2 gezeigt, liegt der Korrekturfaktor vorzugsweise zwischen 1 und einem Maximalwert $f_{\max}$. Sowohl der Verlauf der Korrekturfunktion f als auch der maximale Korrekturfaktor $f_{\max}$ können für die schnellere Dynamik und die langsamere Dynamik unterschiedlich sein. Vorzugsweise weist die Korrekturfunktion f für die langsamere Dynamik dabei einen geringeren Korrekturfaktor $f_{\max}$ und/oder einen flacheren Anstieg des Korrekturfaktors auf. Der Verlauf und der Maximalwert bei der jeweiligen Dynamik hängen jedoch von dem zugrundeliegenden empirischen Simulationsmodell des jeweiligen Motors ab, so dass die angegebenen Verhältnisse auch umgekehrt sein können.

[0069] Liegt der Lastgradient außerhalb des vordefinierten Wertebereichs, d. h. wird in Arbeitsschritt 102 keine Dynamik festgestellt, so wird in einem Arbeitsschritt 103 die Partikelanzahl mittels des, insbesondere unveränderten, empirischen Simulationsmodells bestimmt.

[0070] Zum Berechnen der Partikelanzahl mittels des empirischen Simulationsmodells oder des modifizierten Simulationsmodells weist das System vorzugsweise Mittel 14 zum Bestimmen der Partikelanzahl auf. Auch diese Mittel 14 werden vorzugsweise durch ein Modul einer Recheneinrichtung, insbesondere eine Logikschaltung, realisiert.

[0071] Die für einen bestimmten Betriebsbereich der Brennkraftmaschine bestimmte Partikelzahl wird in einem Arbeitsschritt 107 ausgegeben. Das System 10 weist zum Ausgeben der Partikelanzahl vorzugsweise entsprechend eine Schnittstelle 15, insbesondere eine Benutzerschnittstelle oder eine Datenschnittstelle, auf.

[0072] Weiter vorzugsweise werden beim Bestimmen der Partikelanzahl während einer Dynamik des Betriebs der Brennkraftmaschine weitere Betriebsparameter, insbesondere die Temperatur des Betriebs der Brennkraftmaschine als zweiter Betriebsparameter, berücksichtigt.

[0073] Die Temperatur des Betriebs, welche insbesondere der Kühlmitteltemperatur der Brennkraftmaschine entspricht, kann hierbei in dem modifizierten Simulationsmodell, insbesondere in dessen Korrekturfunktion, berücksichtigt sein oder aber als Untermodell des modifizierten Simulationsmodells mit eigener Korrekturfunktion hinterlegt sein.

[0074] Vorzugsweise wird hierfür die Temperatur der Brennkraftmaschine in einem Arbeitsschritt 101b ermittelt. Wie im Falle des ersten Betriebsparameters, insbesondere des Lastgradienten,

kann das Ermitteln mittels Messungen, Simulation oder auch einem einfachen Einlesen über eine Schnittstelle ausgeführt werden.

[0075] Auch dieser Arbeitsschritt kann vorzugweise von den Mitteln 12 zum Ermitteln eines ersten Betriebsparameters ausgeführt werden.

[0076] Schließlich wird auch in Bezug auf die Temperatur als zweiter Betriebsparameter geprüft, ob diese innerhalb eines ersten vordefinierten Wertebereichs liegt, welcher das Vorliegen der Betriebstemperatur der Brennkraftmaschine kennzeichnet. In diesem Wertebereich ist die Brennkraftmaschine mithin im normalen Betriebszustand. In diesem Fall wird der Verlauf der Korrekturfunktion in einem Arbeitsschritt 105a gedämpft und/oder wenigstens ein Maximalwert $f_{\max}$ der Korrekturfunktion verringert, wenn eine Dynamik des Betriebs der Brennkraftmaschine in Arbeitsschritt 102 festgestellt wurde.

[0077] Der Erfinder hat festgestellt, dass der Einfluss der Dynamik auf die emittierte Partikelanzahl nach Erreichen der regulären Betriebstemperatur der Brennkraftmaschine nur noch weniger ausgeprägt ist. Dies wird durch die Dämpfung des Verlaufs der Korrekturfunktion f oder die Verringerung deren Maximalwerts $f_{\max}$ berücksichtigt.

[0078] Vorzugsweise kann in dem Arbeitsschritt 104 auch geprüft werden, ob die Temperatur des Betriebs der Brennkraftmaschine, insbesondere die Kühlmitteltemperatur, in einem zweiten vordefinierten Wertebereich, oder einem dritten vordefinierten Wertebereich liegt. Der zweite vordefinierte Wertebereich steht hierbei für Temperaturen in einer Aufwärmphase der Brennkraftmaschine, der dritte vordefinierte Wertebereich der Kühlmitteltemperatur steht vorzugsweise für eine geringere Temperatur in der Kaltstartphase der Brennkraftmaschine.

[0079] Auf der Grundlage des jeweiligen Werts des ersten Betriebsparameters und des zweiten Betriebsparameters, im vorliegenden Ausführungsbeispiel also des Lastgradienten und der Kühlmitteltemperatur der Brennkraftmaschine, werden dann verschiedene Verläufe und/oder Maximalwerte $f_{\max}$ der Korrekturfunktion f ausgewählt, 105b, 105c, 105d, 105e.

[0080] Wenn der Lastgradient in einem ersten vordefinierten Teilwertebereich innerhalb des vordefinierten Wertebereichs ist und der zweite Betriebsparameter innerhalb des zweiten vordefinierten Wertebereichs liegt, so wird in einem Arbeitsschritt 105b ein dritter Verlauf und/oder ein dritter Maximalwert $f_{\max}$ der Korrekturfunktion f ausgewählt. Dies entspricht einer langsameren Dynamik in der Aufwärmphase der Brennkraftmaschine.

[0081] Wenn der Lastgradient einen ersten vordefinierten Teilwertebereich innerhalb des vordefinierten Wertebereichs einnimmt und die Kühlmitteltemperatur innerhalb des dritten vordefinierten Wertebereichs liegt, so wird in einem Arbeitsschritt 105c ein vierter Verlauf und/oder ein vierter Maximalwert $f_{\max}$ der Korrekturfunktion f ausgewählt. Diese Auswahl entspricht einer langsamen Dynamik in einer Kaltstartphase des Motorbetriebs.

[0082] Wenn der Lastgradient einen zweiten vordefinierten Teilwertebereich innerhalb des vordefinierten Wertebereichs annimmt und die Kühlmitteltemperatur innerhalb des zweiten vordefinierten Wertebereichs liegt, so wird in einem Arbeitsschritt 105d ein fünfter Verlauf und/oder ein fünfter Maximalwert $f_{\max}$ der Korrekturfunktion f ausgewählt. Diese Auswahl entspricht einer schnelleren Dynamik in der Aufwärmphase der Brennkraftmaschine.

[0083] Wenn der Lastgradient einen zweiten vordefinierten Teilwertebereich innerhalb des vordefinierten Wertebereichs annimmt und der zweite Betriebsparameter innerhalb des dritten vordefinierten Wertebereichs liegt, so wird in einem Arbeitsschritt 105e ein sechster Verlauf und/oder ein sechster Maximalwert $f_{\max}$ der Korrekturfunktion f ausgewählt. Diese Auswahl entspricht der Auswahl in einem Motorbetrieb mit schnellerer Dynamik in der Kaltstartphase.

[0084] Vorzugsweise ist der erste vordefinierte Teilwertebereich daher kleiner als der zweite vordefinierte Teilwertebereich des vordefinierten Wertebereichs des ersten Betriebsparameters, im vorliegenden Fall des Lastgradienten. Des Weiteren ist der erste vordefinierte Wertebereich des zweiten Betriebsparameters, im vorliegenden Fall der Kühlmitteltemperatur, also höher als der zweite vordefinierte Wertebereich, welcher wiederum höher als der dritte vordefinierte

Wertebereich ist.

[0085] Mittels der Korrekturfunktion oder einem den jeweiligen Betriebsbedingungen angepassten Verlauf der Korrekturfunktion wird das empirische Simulationsmodell verändert, so dass das modifizierte Simulationsmodell entsteht. Anhand dieses modifizierten Simulationsmodells wird die jeweils in jedem Zeitpunkt vorliegende emittierte Partikelanzahl in Arbeitsschritt 106 wiederum bestimmt. Diese Partikelanzahl wird schließlich in einem Arbeitsschritt 107 ausgegeben.

[0086] Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorteilhaften 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 von mindestens einem Ausführungsbeispiel gegeben, wobei diverse Änderungen, insbesondere im Hinblick auf die Funktion und Anordnung der beschriebenen Bestandteile, vorgenommen werden können, ohne den Schutzbereich zu verlassen, wie er sich aus den Ansprüchen und diesen äquivalenten Merkmalskombinationen ergibt.

Patentansprüche

1. Computergestütztes Verfahren (100) zur Simulation einer von einer Brennkraftmaschine emittierten Partikelanzahl,
wobei die bei einem Verbrennungsprozess in der Brennkraftmaschine emittierte Partikelanzahl mittels eines empirischen Simulationsmodells beschrieben wird, welches Betriebsparameter der Brennkraftmaschine als Eingangsparameter und wenigstens die Partikelanzahl als Ausgangsparameter, aufweist,
wobei das empirische Simulationsmodell auf der Grundlage von Messungen an der Brennkraftmaschine beruht,
folgende Arbeitsschritte aufweisend:
 - Ermitteln (101a) eines ersten Betriebsparameters der Brennkraftmaschine, insbesondere eines Lastgradienten und/oder eines Luftmassenstromgradienten;
 - Prüfen (102), ob der erste Betriebsparameter innerhalb oder außerhalb eines vordefinierten Wertebereichs liegt, welcher eine Dynamik des Betriebs der Brennkraftmaschine charakterisiert; und
 - Bestimmen (103), falls der erste Betriebsparameter außerhalb des vordefinierten Wertebereichs liegt, der Partikelanzahl mittels des empirischen Simulationsmodells; oder
 - Bestimmen (106), falls der erste Betriebsparameter innerhalb des vordefinierten Wertebereichs liegt, der Partikelanzahl mittels eines modifizierten Simulationsmodells, welches auf dem empirischen Simulationsmodell beruht; und
 - Ausgeben (107) der Partikelanzahl.
2. Verfahren (100) nach Anspruch 1, wobei das modifizierte Simulationsmodell durch Modifizieren des empirischen Simulationsmodells mittels einer Korrekturfunktion (f) bestimmt ist, wobei vorzugsweise die Korrekturfunktion als Korrekturparameter, insbesondere als Korrekturfaktor, mit dem empirischen Simulationsmodell verrechnet wird.
3. Verfahren (100) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Korrekturfunktion (f) zeitabhängig ist und/oder wobei der Korrekturparameter einen Wert zwischen 1 und einem vordefinierten Maximalwert ($f_{\max}$) annehmen kann.
4. Verfahren (100) nach Anspruch 2 oder 3, wobei die Korrekturfunktion (f) von dem ersten, insbesondere gefilterten, Betriebsparameter abhängt, wobei vorzugsweise in Abhängigkeit von dem ersten Betriebsparameter einer aus wenigstens zwei Verläufen und/oder einer aus wenigstens zwei Maximalwerten ($f_{\max}$) für die Korrekturfunktion ausgewählt wird, welche jeweils eine langsamere Dynamik und eine schnellere Dynamik charakterisieren.
5. Verfahren (100) nach Anspruch 4, wobei ein erster Verlauf und/oder ein erster Maximalwert ($f_{\max}$) ausgewählt wird, wenn der erste Betriebsparameter innerhalb des vordefinierten Wertebereichs einen ersten vordefinierten Teilwertebereich annimmt, welcher der langsameren Dynamik entspricht, oder wobei ein zweiter Verlauf und/oder ein zweiter Maximalwert ($f_{\max}$) ausgewählt wird, wenn der erste Betriebsparameter innerhalb des vordefinierten Wertebereichs einen zweiten vordefinierten Teilwertebereich annimmt, welcher der schnelleren Dynamik entspricht.
6. Verfahren (100) nach Anspruch 5, wobei der erste vordefinierte Teilwertebereich im Wesentlichen niedriger ist als der zweite vordefinierte Teilwertebereich und wobei der erste Verlauf vorzugsweise im Wesentlichen gedämpfter als der zweite Verlauf und/oder der zweite Maximalwert ($f_{\max}$) vorzugsweise im Wesentlichen höher als der erste Maximalwert ($f_{\max}$) ist.
7. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei die Korrekturfunktion von einem zweiten Betriebsparameter, insbesondere der Kühlmitteltemperatur, abhängt, wobei das Verfahren des Weiteren den Arbeitsschritt aufweist:
Ermitteln (101b) eines zweiten Betriebsparameters der Brennkraftmaschine, insbesondere einer Temperatur des Betriebs der Brennkraftmaschine, vorzugsweise der Kühlmitteltemperatur;
Prüfen (104), ob der zweite Betriebsparameter innerhalb eines ersten vordefinierten

Wertebereichs liegt, welcher das Vorliegen der Betriebstemperatur der Brennkraftmaschine kennzeichnet;

wobei wenigstens ein Verlauf der Korrekturfunktion gedämpft und/oder wenigstens ein Maximalwert ($f_{\max}$) der Korrekturfunktion verringert wird (105a), wenn der zweite Betriebsparameter innerhalb des ersten vordefinierten Wertebereichs liegt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, wobei in Abhängigkeit von dem zweiten Betriebsparameter einer aus wenigstens zwei Verläufen und/oder einer aus wenigstens zwei Maximalwerten ($f_{\max}$) für die Korrekturfunktion ausgewählt wird, welche jeweils einen Kaltstart und eine Aufwärmphase charakterisieren.
9. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 5 bis 8, wobei die Korrekturfunktion von einem zweiten Betriebsparameter, insbesondere einer Temperatur des Betriebs der Brennkraftmaschine, vorzugsweise der Kühlmitteltemperatur, abhängt, wobei das Verfahren des Weiteren die folgenden Arbeitsschritte aufweist:
Prüfen (104), ob der zweite Betriebsparameter innerhalb eines zweiten vordefinierten Wertebereichs, welcher eine Aufwärmphase der Brennkraftmaschine charakterisiert, oder innerhalb eines dritten vordefinierten Wertebereichs, welcher eine Kaltstartphase der Brennkraftmaschine kennzeichnet, liegt; und
Auswählen (105b) eines dritten Verlaufs und/oder eines dritten Maximalwerts ($f_{\max}$), wenn der erste Betriebsparameter einen ersten vordefinierten Teilwertebereich innerhalb des vordefinierten Wertebereichs annimmt, welcher einer langsameren Dynamik entspricht, und der zweite Betriebsparameter innerhalb des zweiten vordefinierten Wertebereichs liegt; oder
Auswählen (105c) eines vierten Verlaufs und/oder eines vierten Maximalwerts ($f_{\max}$), wenn der erste Betriebsparameter einen ersten vordefinierten Teilwertebereich innerhalb des vordefinierten Wertebereichs annimmt und der zweite Betriebsparameter innerhalb des dritten vordefinierten Wertebereichs liegt; oder
Auswählen (105d) eines fünften Verlaufs und/oder eines fünften Maximalwerts ($f_{\max}$), wenn der erste Betriebsparameter einen zweiten vordefinierten Teilwertebereich innerhalb des vordefinierten Wertebereichs annimmt, welcher der schnelleren Dynamik entspricht, und der zweite Betriebsparameter innerhalb des zweiten vordefinierten Wertebereichs liegt; oder
Auswählen (105e) eines sechsten Verlaufs und/oder sechstens Maximalwerts ($f_{\max}$), wenn der erste Betriebsparameter einen zweiten vordefinierten Teilwertebereich innerhalb des vordefinierten Wertebereichs annimmt und der zweite Betriebsparameter innerhalb des dritten vordefinierten Wertebereichs liegt.
10. Verfahren (100) nach Anspruch 9, wobei der erste vordefinierte Teilwertebereich des ersten Betriebsparameters im Wesentlichen niedriger ist wie der zweite vordefinierte Teilwertebereich und wobei der zweite vordefinierte Wertebereich des zweiten Betriebsparameters im Wesentlichen höher ist als der dritte vordefinierte Wertebereich, wobei der zweite und der dritte vordefinierte Wertebereich des zweiten Betriebsparameters vorzugsweise im Wesentlichen niedriger sind als ein erster vordefinierter Wertebereich und wobei der dritte Verlauf vorzugsweise im Wesentlichen gedämpfter als der vierte Verlauf, der vierte Verlauf vorzugsweise im Wesentlichen gedämpfter als der fünfte Verlauf, und der fünfte Verlauf vorzugsweise im Wesentlichen gedämpfter als der sechste Verlauf ist, wobei der dritte Maximalwert ($f_{\max}$) vorzugsweise im Wesentlichen niedriger als der vierte Maximalwert ($f_{\max}$), der vierte Maximalwert ($f_{\max}$) vorzugsweise im Wesentlichen niedriger als der fünfte Maximalwert ($f_{\max}$), der fünfte Maximalwert ($f_{\max}$) vorzugsweise im Wesentlichen niedriger als der sechste Maximalwert ($f_{\max}$) ist.
11. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 4 bis 10, wobei wenigstens ein Verlauf der Korrekturfunktion verstärkt und/oder wenigstens ein Maximalwert ($f_{\max}$) der Korrekturfunktion erhöht wird, wenn der erste Betriebsparameter innerhalb des ersten oder zweiten vordefinierten Teilwertebereichs des vordefinierten Wertebereichs liegt.
12. Computergestütztes Verfahren zur Kalibrierung einer Brennkraftmaschine, wobei im Betrieb der Brennkraftmaschine kontinuierlich eine emittierte Partikelanzahl mittels eines Verfahrens

nach einem der Ansprüche 1 bis 11 bestimmt wird und wobei eine elektronische Steuereinheit der Brennkraftmaschine auf der Grundlage der bestimmten Partikelanzahl, insbesondere einer aufsummierten Partikelanzahl, kalibriert wird.

13. Computerprogramm, das Anweisungen umfasst, welche, wenn sie von einem Computer ausgeführt werden, diesen dazu veranlassen, die Schritte eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12 auszuführen.
14. Computer-lesbares Medium, auf dem ein Computerprogramm nach Anspruch 13 gespeichert ist oder das Anweisungen umfasst, welche, wenn sie von einem Computer ausgeführt werden, diesen dazu veranlassen, die Schritte eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12 auszuführen.
15. System (10) zur Simulation einer von einer Brennkraftmaschine emittierten Partikelanzahl, aufweisend:
Speichermittel (11), in welchem ein empirisches Simulationsmodell hinterlegt oder hinterlegbar ist, welches die bei einem Verbrennungsprozess in der Brennkraftmaschine emittierte Partikelanzahl beschreibt, welches Betriebsparameter der Brennkraftmaschine als Eingangsparameter und wenigstens die Partikelanzahl als Ausgangsparameter, aufweist, und welches auf der Grundlage von Messungen an der Brennkraftmaschine beruht;
Mittel (12) zum Ermitteln eines ersten Betriebsparameters der Brennkraftmaschine, insbesondere eines Lastgradienten;
Mittel (13) zum Prüfen, ob der erste Betriebsparameter innerhalb eines vordefinierten Wertebereichs liegt, welcher eine Dynamik des Betriebs der Brennkraftmaschine charakterisiert; und
Mittel (14) zum Bestimmen, falls der erste Betriebsparameter außerhalb des vordefinierten Wertebereichs liegt, der Partikelanzahl mittels des empirischen Simulationsmodells oder zum Bestimmen, falls der erste Betriebsparameter innerhalb des vordefinierten Wertebereichs liegt, der Partikelanzahl mittels eines modifizierten Simulationsmodells, welches auf dem empirischen Simulationsmodell beruht; und
eine Schnittstelle (15) zum Ausgeben der Partikelanzahl.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

1/2

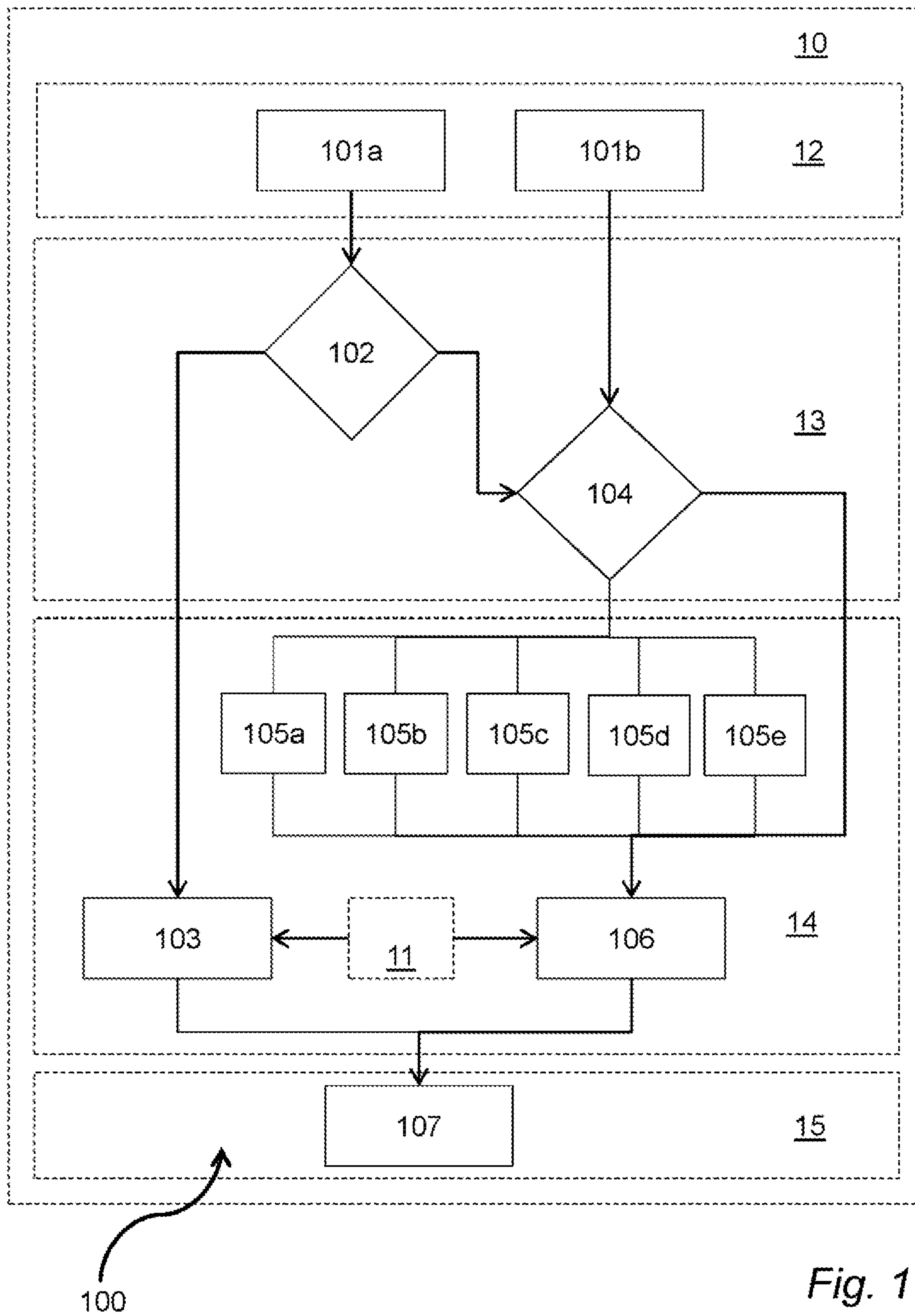


Fig. 1

2/2

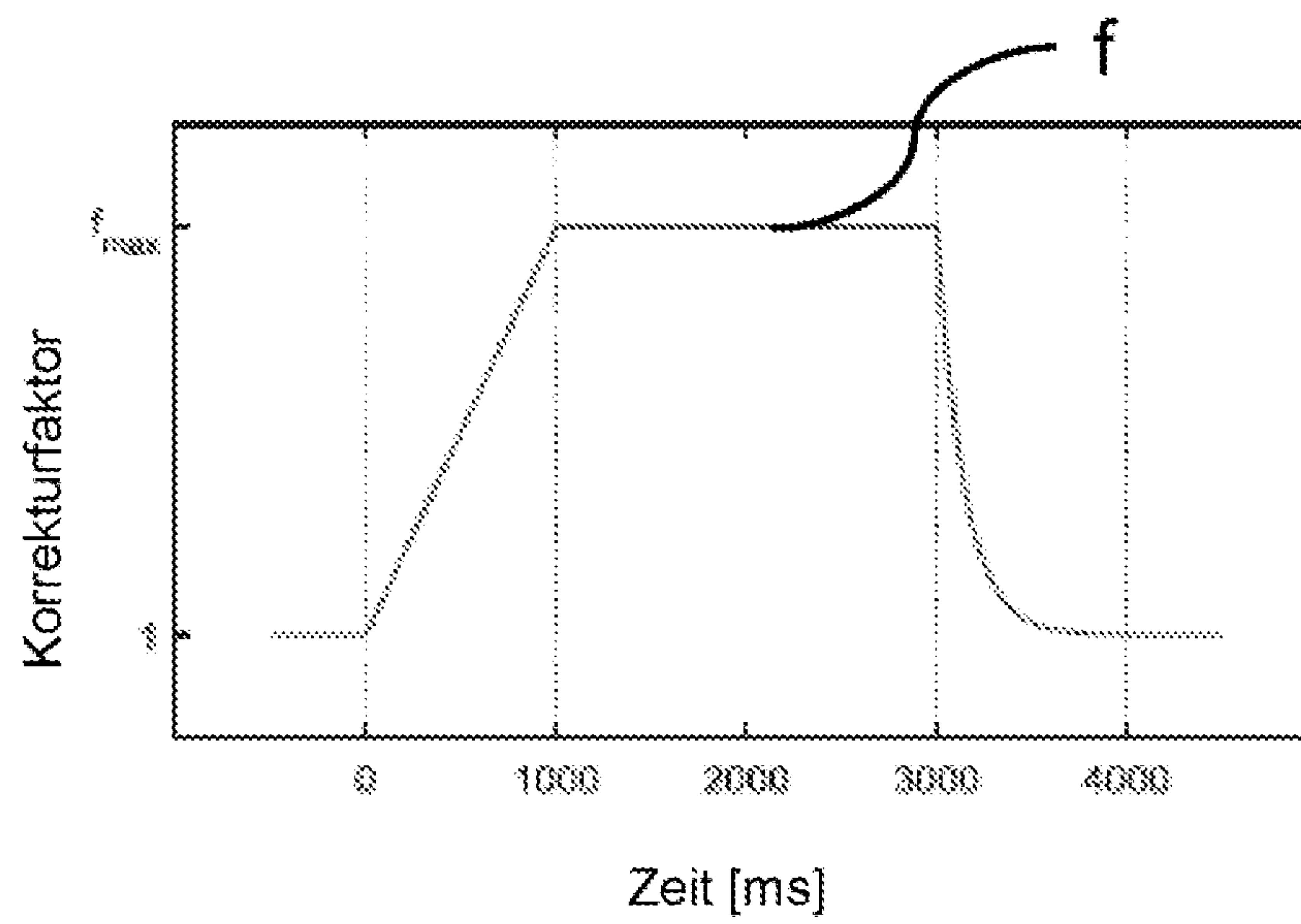


Fig. 2