



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
27.06.2012 Patentblatt 2012/26

(51) Int Cl.:
F02D 41/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11008841.6**

(22) Anmeldetag: **07.11.2011**

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

(71) Anmelder: **Volkswagen AG**
38436 Wolfsburg (DE)

(72) Erfinder: **Ruhnke, Andreas, Dr.**
30173 Hannover (DE)

(30) Priorität: **22.12.2010 DE 102010055640**

(54) **Verfahren und Steuereinrichtung zur Ermittlung einer Rußbelastung eines Partikelfilters**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie ein zur Ausführung des Verfahrens eingerichtete Steuereinrichtung zur Ermittlung einer Rußbelastung eines Partikelfilters (22), welcher in einem Abgasweg einer Verbrennungskraftmaschine (10) angeordnet ist, die mit einem vorbestimmten Kraftstoffmassen-Sollwert ($m_{K_{Soll}}$) und mit einer Luftmasse entsprechend einem vorbestimmten Ladedruck-Sollwert ($p_{L_{Soll}}$) betrieben wird. Dabei wird zur Ermittlung der Rußbelastung in einer instationären Betriebssituation ein Rußeintrag in den Partikelfilter (22)

ermittelt, indem der Rußeintrag für einen entsprechenden stationären Betriebspunkt bestimmt und dieser so korrigiert wird, dass eine Abweichung des Rußeintrags infolge der instationären Betriebssituation berücksichtigt wird.

Es ist vorgesehen, dass die Abweichung des Rußeintrags infolge der instationären Betriebssituation wenigstens in Abhängigkeit von dem vorbestimmten Ladedruck-Sollwert ($p_{L_{Soll}}$) und einem gemessenen Ladedruck-Istwert ($p_{L_{Ist}}$) bestimmt wird.

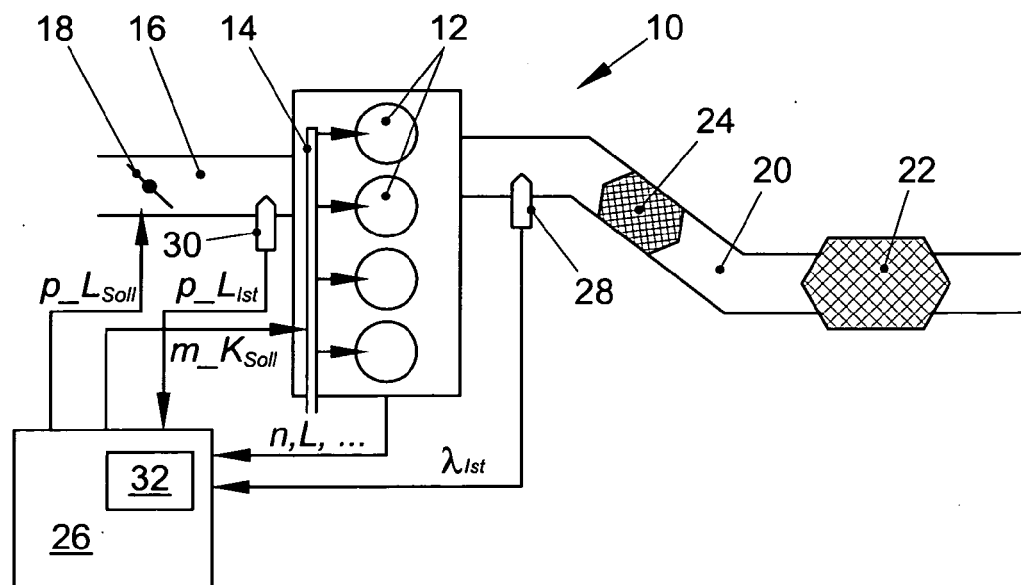


FIG. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung einer Rußbeladung eines Partikelfilters, welcher in einem Abgasweg einer Verbrennungskraftmaschine angeordnet ist, die mit einem vorbestimmten Kraftstoffmassen-Sollwert und mit einer Luftmasse entsprechend einem vorbestimmten Ladedruck-Sollwert betrieben wird. Die Erfindung betrifft ferner eine zur Ausführung des Verfahrens eingerichtete Steuereinrichtung.

[0002] Bekannterweise werden Partikelfilter in Abgasanlagen von Verbrennungskraftmaschinen, insbesondere Dieselmotoren, eingesetzt, um Ruß und andere partikulären Abgasbestandteile aus dem Abgas herauszufiltern. Um ihre Filterkapazität zu erhalten, müssen von Zeit zu Zeit (etwa nach jeweils 500 bis 1500 km) die Partikelfilter vom Ruß befreit werden. Dazu wird der Motor von der Normalbetriebsart in die Partikelfilterregenerationsbetriebsart umgeschaltet, bei der Abgastemperaturen von 550 bis 650 °C erzeugt werden, bei denen die gespeicherte Rußmasse auf dem Filter unter Verbrauch von Luftsauerstoff abgebrannt wird. Zur Feststellung der Regenerationsnotwendigkeit ist die Ermittlung der genauen Beladung des Partikelfilters von großer Bedeutung. Ist nämlich die tatsächlich in dem Partikelfilter gespeicherte Rußmasse größer als die ermittelte, können bei der Regeneration unzulässig hohe Temperaturen infolge der Rußüberbeladung auftreten, die zur Beeinträchtigung des Filters führen können. Wird die ermittelte Beladung im umgekehrten Fall hingegen als zu hoch eingeschätzt, wird die zulässige Beladungskapazität des Filters nicht vollständig genutzt mit der Folge eines erhöhten Kraftstoffverbrauchs aufgrund der unnötig häufigen Partikelfilterregenerationen. Darüber hinaus kann es infolge verstärkter Motorölverdünnung zu erhöhtem Triebwerkverschleiß kommen.

[0003] Ein bekannter Ansatz zur Ermittlung einer Partikelfilterbeladung macht sich den Umstand zunutze, dass mit zunehmender Beladung der Abgasgegendruck vor dem Filter ansteigt. Konkret wird der Abgasgegendruck oder die Druckdifferenz vor und hinter dem Filter mittels Drucksensoren gemessen und mit einem betriebspunktabhängigen Schwellenwert verglichen, dessen Überschreitung zur Auslösung der Filterregeneration führt.

[0004] DE 101 40 048 B4 beschreibt ein Verfahren zur Ermittlung einer Partikelbeladung eines Dieselpartikelfilters, der einem mittels eines Abgasturboladers aufgeladenen Dieselmotor nachgeschaltet ist. Dabei wird mittels eines Ladedrucksensors ein aktueller Ladedruck im Ansaugkrümmer gemessen und mit einem betriebspunktabhängigen Referenz-Ladedruck verglichen. Der Referenz-Ladedruck entspricht einem, bei dem vorliegenden Betriebspunkt zu erwartenden Ladedruck bei einem regenerierten, d.h. partikelfreien Partikelfilter. Überschreitet die Differenz aus dem Referenz-Ladedruck und dem gemessenen Ladedruck einen Schwellenwert, so wird dies als Indiz für einen kritischen Füllstand des Dieselpartikelfilters angesehen und der Filter regeneriert. In einer alternativen, aber grundsätzlich analogen Vorgehensweise geht DE 101 40 048 B4 von einem Abgasturbolader aus, dessen Turbinenschaufeln mit einer geregelten Verstellung ausgestattet sind. In einem geschlossenen Regelkreis wird die Schaufelstellung auf einen vorbestimmten Soll-Ladedruck geregelt. In diesem Ansatz wird die Ist-Stellung der Turbinenschaufeln gemessen und mit einer betriebspunktabhängigen Referenz-Schaufelstellung verglichen. Überschreitet die Differenz aus beiden einen vorbestimmten Schwellenwert, wird eine Filterregeneration ausgelöst. Beide Ansätze lösen grundsätzlich nicht das Problem, in dynamischen Betriebssituationen eine gute Genauigkeit der Bestimmung der Filterbeladung zu gewährleisten.

[0005] Einen grundsätzlich zur Druck- bzw. Differenzdruckmessung unterschiedlichen Ansatz liefern modellbasierte Verfahren, welche die Rußbeladung modellieren, indem der Rußmassenstrom des Abgases und damit der Rußeintrag in den Filter abgeschätzt wird. Hierfür werden betriebspunktabhängige Kennfelder genutzt, welche den Rußgehalt des Abgases in Abhängigkeit von dem Betriebspunkt, in der Regel in Form von Motordrehzahl und Motorlast (welche gemäß Solldrehmoment oder Kraftstoffmasse einfließt), angeben. Unter Berücksichtigung des Rußaustrages infolge passiver und aktiver Filterregenerationen erfolgt die Ermittlung der Filterbeladung durch Integration.

[0006] Sofern der Rußeintrag in Abhängigkeit vom Motorbetriebspunkt kennfeldmäßig ermittelt wird, entspricht dies dem nominellen Zustand für ein System im stationären Gleichgewichtszustand, bei dem die einzuregelnden Betriebsparameter, wie zugeführte Luft- und Kraftstoffmasse, EGR-Rate etc. und damit das Luft-Kraftstoff-Verhältnis Lambda, mit den tatsächlich vorliegenden übereinstimmen. Dies ist jedoch unter dynamischen Bedingungen mitnichten der Fall. Insbesondere führen trägheitsbedingte Regelabweichungen zu gegenüber den stationären Rußemissionen stark abweichenden Emissionen, die nur schwer erfassbar sind. Dies liegt darin begründet, dass insbesondere in hochdynamischen Fahrzyklen der überwiegende Teile der Rußemissionen eine Folge instationärer und damit schwer erfassbarer Motorbetriebszustände ist. Unter diesen Bedingungen werden in dem jeweiligen momentanen Arbeitspunkt des Motors (auch Betriebspunkt genannt) die Sollwertvorgaben der Luft- und Kraftstoffzumessung infolge von Trägheiten der Regelstrecken und Stellglieder infolge hoher Fahrdynamik nicht erreicht. Dies trifft in besonderem Maße auf die Ladeluftdruckregelung zu, da diese mit Abstand die größte Trägheit aufweist.

[0007] Aus DE 10 2006 055 562 B4 ist ein modellbasiertes Verfahren zur Ermittlung der Partikelfilterbeladung bekannt, welches den Rußgehalt des Abgases aus Kennfeldern ableitet, die als Zustandsgrößen für den Betriebspunkt den gemessenen oder abgeschätzten Lambda-Istwert sowie die aktuelle Abgasrückführrate (EGR-Rate) heranziehen. Optional können weitere Zustandsgrößen, insbesondere der Rail-Druck, Berücksichtigung finden. Die EGR-Rate kann beispielsweise in Abhängigkeit von dem Quotienten aus dem Gasdruck im Ansaugkrümmer und dem Abgasdruck stromauf der Turbine des Turboladers ermittelt werden.

[0008] Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Ermittlung der Beladung eines Partikelfilters zur Verfügung zu stellen, das eine erhöhte Genauigkeit aufweist und für verschiedene Motorbetriebsarten gültig ist und somit einfach zu implementieren ist. Die Ermittlung der Beladung sollte dabei in Echtzeit beispielsweise im elektronischen Motorsteuergerät ausgeführt werden können und einen möglichst geringen Kalibrierungsaufwand erfordern. Ferner soll

eine zur Ausführung des Verfahrens geeignete Steuereinheit bereitgestellt werden.

[0009] Diese Aufgaben werden mit einem Verfahren sowie einer Steuereinrichtung mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren betrifft demnach die Ermittlung einer Rußbeladung eines Partikelfilters, welcher in einem Abgasweg einer Verbrennungskraftmaschine angeordnet ist, die mit einem vorbestimmten Kraftstoffmassen-Sollwert und mit einer Luftmasse entsprechend einem vorbestimmten Ladedruck-Sollwert betrieben wird. Dabei wird zur Ermittlung der Rußbeladung zumindest in einer instationären Betriebssituation ein Rußeintrag in den Partikelfilter ermittelt, indem der Rußeintrag für einen entsprechenden stationären Betriebspunkt bestimmt und dieser so korrigiert wird, dass eine Abweichung des Rußeintrags infolge der instationären Betriebssituation berücksichtigt wird. Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, dass die Abweichung des Rußeintrags infolge der instationären Betriebssituation wenigstens in Abhängigkeit von dem vorbestimmten Ladedruck-Sollwert und einem gemessenen Ladedruck-Istwert bestimmt wird, wobei in bevorzugter Ausführung zusätzlich ein gemessener Lambda-Istwert in die Ermittlung einfließt.

[0011] Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass das Verfahren ausschließlich mit (grundsätzlich exakten) Mess- und Rechenwerten auskommt und in der Lage ist, den Einfluss einer Lambda-Abweichung ($\Delta\lambda$) von einem stationären Lambda (Lambda-Referenzwert) auf die Rußemission des Motors zu berücksichtigen, ohne dass der Lambda-Referenzwert aus empirisch zu ermittelnden, Betriebspunktabhängigen Kennfeldern abgeleitet werden muss. Vielmehr wird die für die instationäre Abweichung der Rußemission hauptsächlich verantwortliche Lambda-Abweichung ausschließlich rechnerisch bestimmt und erst aus der Lambda-Abweichung ein Rußemissionswert bestimmt, wofür eine einfache, empirisch ermittelte Kennlinie ausreicht. Im Ergebnis zeichnet sich das Verfahren durch eine sehr hohe Genauigkeit aus. Darüber hinaus ist der so hergeleitete Einfluss der Lambda-Abweichung auf die Rußemission für jede Betriebsart der Verbrennungskraftmaschine gültig.

[0012] Dabei wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung der Begriff "Ladedruck" in einem weiten Sinn verstanden und umfasst einen Druck der der Verbrennungskraftmaschine zugeführten und vor dem Einlassventil vorliegenden Verbrennungsluft unabhängig von der Luftzuführungsart. Insbesondere umfasst er den durch einen Ladeluftlader, beispielsweise einem Abgasturbolader, erzeugten Ladedruck, mit dem die Verbrennungskraftmaschine betrieben wird. Ebenso umfasst der Begriff jedoch auch - im Falle nicht aufgeladener Motoren — den Ansaugdruck. Der Begriff "Ladedruck" ist somit als "Lade- oder Ansaugdruck" zu verstehen.

[0013] In bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass ein Lambda-Referenzwert in Abhängigkeit von dem vorbestimmten Ladedruck-Sollwert, dem gemessenen Ladedruck-Istwert und dem gemessenen Lambda-Istwert bestimmt wird und ein Rußemissions-Referenzwert oder ein hiermit korrelierender Wert in Abhängigkeit des Lambda-Referenzwerts bestimmt wird und dieser Wert in die Korrektur einfließt. Dabei kann der Lambda-Referenzwert gemäß folgender Gleichung bestimmt werden:

$$\lambda_{REF} = \lambda_{Ist} \cdot \frac{p - L_{Soll}}{p - L_{Ist}}.$$

[0014] Wie vorstehend bereits ausgeführt, bedarf dieser Lambda-Referenzwert keine Herleitung über empirisch ermittelte Betriebspunktabhängige Kennfelder und ist für jede Motorbetriebsart gültig.

[0015] In weiterer bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass ein Rußemissions-Istwert oder ein hiermit korrelierender Wert in Abhängigkeit des gemessenen Lambda-Istwerts bestimmt wird und dieser Wert in die Korrektur einfließt. Dabei können Rußemissions-Referenzwert sowie Rußemissions-Istwert in Abhängigkeit von dem Lambda-Referenzwert bzw. Lambda-Istwert aus einer empirisch ermittelten Kennlinie ausgelesen werden.

[0016] Aus dem Verhältnis des Rußemissions-Istwerts und des Rußemissions-Referenzwerts oder aus den entsprechenden korrelierenden Werten wird in bevorzugter Ausführung ein (erster) Korrekturfaktor bestimmt, der in die Korrektur insbesondere durch Multiplikation mit dem stationären Rußmassenstrom einfließt. Bereits mit diesem sehr einfachen Modell wird eine gegenüber dem Stand der Technik verbesserte Genauigkeit erreicht.

[0017] Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ferner eine Steuereinrichtung zur Ermittlung einer Rußbeladung eines Partikelfilters, die zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet ist. Die Steuereinrichtung kann insbesondere in ein elektronisches Motorsteuergerät implementiert sein. Zur Ausführung des Verfahrens kann sie einen entsprechenden Algorithmus in gespeicherter und computer-lesbarer Form enthalten sowie eine gespeicherte lambda-abhängige Kennlinie, welche einen Rußemissionswert oder einen korrelierenden Wert, insbesondere einen dimensionslosen Rußemissionskennwert, in Abhängigkeit von Lambda abbildet.

[0018] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

[0019] Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Figur 1 schematisch eine Verbrennungskraftmaschine mit zugeordneten Abgastrakt;

Figur 2 logisches Blockschaltbild eines Verfahrens gemäß Stand der Technik zur Ermittlung einer Beladung eines Partikelfilters;

Figur 3 einen detaillierten Ausschnitt des Blockschaltbildes nach Figur 2;

Figur 4 logisches Blockschaltbild eines Verfahrens zur Ermittlung einer Beladung eines Partikelfilters gemäß einer bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung;

Figur 5 einen detaillierten Ausschnitt des Blockschaltbildes nach Figur 4 und

Figur 6 schematisch Lambda-Rußemissions-Kennlinie.

[0020] Figur 1 zeigt eine insgesamt mit 10 bezeichnete Verbrennungskraftmaschine, bei der es sich insbesondere um einen Dieselmotor handelt. Die Verbrennungskraftmaschine 10 umfasst eine Mehrzahl von Zylindern 12, denen über ein Kraftstoffeinspritzsystem 14 Kraftstoff im Wege einer Vorgemischbildung, üblicherweise jedoch direkt zugeführt wird. Ferner sind die Zylinder 12 mit einem Ansaugrohr 16, beispielsweise über einen nicht dargestellten Ansaugkrümmer, verbunden, über welches eine Luftzufuhr in die Verbrennungsräume der Zylinder 12 erfolgt, um darin ein zündfähiges Luft-Kraftstoff-Gemisch entsprechend einem gewünschten Lambda Sollwert darzustellen. Zu diesem Zweck kann das Ansaugrohr 16 optional ein steuerbares Stellelement 18, beispielsweise eine Drosselklappe enthalten.

[0021] Auf der anderen Seite sind (nicht dargestellte) Auslassöffnungen der Zylinder 12, üblicherweise über einen ebenfalls nicht dargestellten Abgaskrümmer, mit einem Abgaskanal 20 verbunden, in welches das Abgas der Verbrennungskraftmaschine 10 einströmt. Der Abgaskanal 20 enthält einen Partikelfilter 22, insbesondere einen Dieselpartikelfilter DPF. Darüber hinaus können weitere Abgasreinigungskomponenten in dem Abgaskanal 20 angeordnet sein, wobei in Figur 1 exemplarisch ein, dem DPF 22 vorgeschalteter Katalysator 24 dargestellt ist: Der vorgeschaltete Katalysator 24 oder auch weitere Katalysatoren können beispielsweise einen Oxidationskatalysator, einen NO_x -Speicherkatalysator oder einen CRT-Katalysator umfassen.

[0022] Das in Figur 1 dargestellte System kann darüber hinaus selbstverständlich weitere bekannte Komponenten, wie ein externes Abgasrückführungssystem oder einen Abgasturbolader, aufweisen. Abgasrückführungssysteme leiten in bekannter Weise einen Abgasteilstrom aus dem Abgaskanal 20 ab und führen diesen wieder dem Verbrennungsprozess des Motors 10 zu, indem er etwa in das Ansaugrohr 16 oder in den Abgaskrümmer eingeleitet wird. Auf diese Weise lassen sich Verbrennungstemperaturen absenken und somit die Bildung von Stickoxiden reduzieren. Abgasturbolader umfassen eine im Abgaskanal 20 angeordnete Turbine, die — angetrieben durch die kinetische Energie des Abgases — über eine Welle einen im Ansaugrohr angeordneten Verdichter antreibt, um somit die Ladeluft der Verbrennungskraftmaschine 10 zu komprimieren und auf diese Weise höhere Leistungen zu bewirken.

[0023] Die Verbrennungskraftmaschine 10 und deren Komponenten verfügen ferner über ein Steuer- und Regelsystem, dessen zentrales Element ein Motorsteuergerät 26 ist, das einerseits über Signalleitungen (in Figur 1 mit gestrichelten Pfeilen dargestellt) Signale verschiedener Sensoren 28, 30 empfängt und andererseits über Steuerleitungen (durchgezogene Pfeile) verschiedene Stellglieder 14, 18 ansteuert. Im Einzelnen empfängt das Steuergerät 26 ein Signal einer im Abgaskanal 20 angeordneten Lambdasonde 28, das mit einem Sauerstoffgehalt des Abgases und somit dem Lambda-Istwert λ_{Ist} korreliert. Die Lambdasonde sollte vorzugsweise als Breitbandsonde ausgestaltet sein und ist vorzugsweise an einer motornahen Position stromauf des ersten Katalysators 24 installiert. Ferner ist ein Drucksensor 30 im Ansaugrohr 16 oder dem Ansaugkrümmer angeordnet, der einen Ladedruck-Istwert $p_{\text{L-Ist}}$ erfasst und an das Motorsteuergerät 26 übermittelt. Bei Vorhandensein eines Turboladers, der die Verbrennungskraftmaschine 10 mit komprimierter Luft versorgt, ist der Drucksensor 30 vorzugsweise stromab des Verdichters, insbesondere stromab eines Luftladekühlers angeordnet. Weitere (nicht dargestellte) Sensoren umfassen üblicherweise einen Drehzahlsensor, der die Motordrehzahl n misst sowie einen Sensor (z.B. einen Pedalwertgeber), der ein der Motorlast L entsprechendes Signal an das Motorsteuergerät 26 bereitstellt. Darüber hinaus können Temperatursensoren zur Erfassung der Motor- und/oder Kühlmitteltemperatur, Drucksensoren zur Erfassung des Umgebungsdrucks, Gassensoren zur Erfassung von Abgaskomponenten wie NO_x und dergleichen vorgesehen sein.

[0024] In Abhängigkeit der eingelesenen Signale ermittelt das Steuergerät 26 unter Verwendung abgespeicherter Kennfelder 32 Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10 und korrespondierende Steuersignale für die Stell-

glieder, um gewünschte Sollwerte darzustellen. In diesem Zusammenhang ermittelt das Steuergerät 36 einen aktuellen Betriebspunkt der Verbrennungskraftmaschine 10, insbesondere in Form der Drehzahl n und der Motorlast L , und ermittelt aus einem abgespeicherten Kennfeld in Abhängigkeit des Betriebspunkts einen Kraftstoffmassen-Sollwert $m_{K_{Soll}}$ und steuert das Kraftstoffeinspritzsystem 14 beispielsweise mit einem entsprechenden Öffnungszeitensignal an, um dem Motor 10 die gewünschte Kraftstoffmasse zuzuführen. Ferner ermittelt das Steuergerät 26 aus einem weiteren abgespeicherten Kennfeld in Abhängigkeit des Betriebspunkts (n , L) einen Ladedruck-Sollwert $p_{L_{Soll}}$ und steuert die Drosselklappe 18 und/oder den Verdichter des Turboladers mit einem entsprechenden Stellungssignal an, um den gewünschten Ladedruck im Ansaugkrümmer darzustellen. Der Ladedruck p_L und die Kraftstoffmasse m_K werden im Wege geschlossener Regelkreise durch den gemessenen Istwert $p_{L_{Ist}}$ so geregelt, dass Regelabweichungen minimiert werden.

[0025] Der Partikelfilter 22 sammelt den im Abgas enthaltene Ruß und eventuell andere partikuläre Bestandteile an und muss bei Erreichen eines kritischen Beladungswertes regeneriert werden, um seine ursprüngliche Beladungskapazität und damit seine Filterfunktion wieder herzustellen. Um die Filterbeladung zu ermitteln, sind im Stand der Technik Ansätze bekannt, die den Rußeintrag und den Rußaustrag in den bzw. aus den DPF 22 kontinuierlich durch Rußmassensimulationsmodelle ermitteln und aufintegrieren, so dass eine kumulierte Beladung, die mit dem Beladungsschwellenwert verglichen werden kann, resultiert.

[0026] Ein solches im Stand der Technik bekanntes Modell ist im Blockschaltbild der Figur 2 schematisch dargestellt. Dieses Modell berücksichtigt vier Einflüsse, die sich entweder beladungserhöhend oder beladungsreduzierend auswirken.

[0027] Zunächst einmal fließt in das Modell der Rußmassenstrom aus der Motoremission bei stationärem Betrieb beladungserhöhend ein (Zweig a in Figur 2). Dabei wird in Abhängigkeit der Eingangsgrößen Drehzahl, Drehmoment und eventuell des Umgebungsdrucks unter Verwendung von Emissionskennfeldern, die für den jeweiligen Betriebspunkt unter stationären, d.h. konstanten Bedingungen empirisch ermittelt wurden, die aktuelle Rußemission des Motors unter Annahme eines stationären Zustandes ermittelt.

[0028] Weiterhin wird der ebenfalls beladungserhöhende Rußmassenstrom aus der Motoremission bei instationärem, also dynamischem Betrieb berücksichtigt (Zweig b in Figur 2). Dieser wird hauptsächlich durch die instationären Abweichungen des aktuellen Lambdawertes λ_{Ist} vom stationären Lambdawert λ_{REF} im aktuellen Arbeitspunkt verursacht. Eingangsgrößen sind hier daher neben der Drehzahl und dem Drehmoment der gemessene Lambda-Istwert. Einzelheiten zur Ermittlung des instationären Rußmassenstroms gemäß diesem Stand der Technik werden unten im Zusammenhang mit Figur 3 erläutert.

[0029] Als weiterer Einfluss auf die Rußbeladung des DPF 22 wird eine NO_x -Regeneration beladungsreduzierend berücksichtigt, bei der unter der Voraussetzung ausreichender Abgastemperaturen ein Abbrand des Rußes im Partikelfilter durch die im Abgas enthaltenden Stickoxide wie NO_2 erfolgt (Zweig c in Figur 2). Die NO_x -Regeneration erfolgt in der Regel spontan und wird durch hohe Abgastemperaturen ausgelöst und nicht willkürlich eingeleitet. Eingangsgröße ist neben der Drehzahl und dem Drehmoment die Abgastemperatur.

[0030] Schließlich findet die thermische Rußregeneration Berücksichtigung, die in der Regel willkürlich bei Erreichen eines Beladungsschwellenwertes eingeleitet wird, indem Maßnahmen zur Anhebung der Abgas- und/oder Filtertemperatur eingeleitet werden (Zweig d in Figur 2). Da die thermische Regeneration unter Verbrauch von Sauerstoff des Abgases als Oxidationsmittel stattfindet, gehen als Eingangsgrößen der Ermittlung der Rußaustragsrate neben der Drehzahl, dem Drehmoment und der Abgastemperatur auch der Lambdawert ein.

[0031] Für alle Komponenten a) bis d) werden entsprechende Kennfelder verwendet, welche den Rußeintrag in den DPF bzw. den Rußaustrag aus dem DPF, beispielsweise in Form von Rußmassenströmen mit der Einheit mg/m^3 oder mg/h , in Abhängigkeit von den genannten Eingangsgrößen abbilden. Die vier Einzelwerte a) bis d) werden laufend durch Addition bzw. Subtraktion miteinander verrechnet und über die Betriebszeit integriert (kumuliert), so dass das Resultat der Ermittlung eine absolute Rußmasse oder eine hiermit korrelierende Größe ist, die mit einem vorbestimmten kritischen Beladungsschwellenwert verglichen werden kann.

[0032] Die größte Schwierigkeit in dem Bestreben, die Beladung des DPF mit hoher Genauigkeit zu ermitteln, stellt die Erfassung der Rußmassenströme in instationären, also dynamischen Betriebssituationen für alle Fahrzyklen dar. Es ist bekannt, dass die Rußemissionen beim Dieselmotor stark vom Luft-Kraftstoff-Verhältnis (Lambda) abhängen. Insbesondere sind diese in der Nähe des stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältnisses ($\lambda = 1$) besonders hoch. In dem bekannten Verfahren wird daher eine instationäre Lambda-Regelabweichung ($\Delta\lambda$) durch Vergleich des gemessenen momentanen Lambdawertes (Lambda-Istwert) mit einem stationären Lambda-Referenzwert berücksichtigt. Zur Veranschaulichung dieser Vorgehensweise zur Ermittlung des instationären Rußeintrags ist in Figur 3 ein detaillierter Ausschnitt aus dem Verfahren aus Figur 2 dargestellt.

[0033] Gemäß Figur 3 wird der Lambda-Istwert durch Messung im Abgasstrom erfasst. Ferner wird aus dem aktuellen Betriebspunkt, der in Form der aktuellen Drehzahl und des aktuellen Drehmoments eingelesen wird, ein stationärer Lambda-Referenzwert ermittelt, der einem empirisch ermittelten Kennfeld (Lambda-Referenzkennfeld) als Funktion der Drehzahl und des Drehmoments entnommen wird. Durch Subtraktionsbildung wird die Lambda-Abweichung $\Delta\lambda$ berech-

net, welche zusammen mit dem gemessenen Lambda-Istwert in ein Rußmassenstromkennfeld eingehen, um diesem den instationären Rußmassenstrom zu entnehmen, der zu dem stationären Rußmassenstrom addiert wird.

[0034] Prinzipieller Mangel dieser bekannten Vorgehensweise ist, dass das Lambda-Referenzkennfeld jeweils nur für eine einzige Betriebsart der Verbrennungskraftmaschine gültig ist. Dieselmotoren modernster Bauart, die über ein Abgasnachbehandlungssystem für Stickoxide verfügen, etwa über einen NO_x -Speicherkatalysator, werden jedoch mit mindestens sechs und teilweise mehr verschiedenen Betriebsarten gefahren, umfassend beispielsweise Normalbetrieb, Oxidationskatalysator-Heizbetrieb, DPF-Vorwärmen, DPF-Regeneration, NO_x -Speicherkatalysator-Regeneration, NO_x -Speicherkatalysator-Entschwefelung und gegebenenfalls noch weitere. Dies bedeutet, dass für jede einzelne dieser Betriebsarten jeweils ein Lambda-Referenzkennfeld zur Ermittlung des Lambda-Referenzwerts für alle Betriebspunkte empirisch ermittelt werden muss. Der Applikations- und Bedienungsaufwand ist somit sehr hoch. Darüber hinaus können Korrekturen im Brennverfahren, die aus wechselnden Umgebungsbedingungen, wie Luftdruck, Lufttemperatur, Kühlwassertemperatur etc., resultieren und Einfluss auf das stationäre Luft-Kraftstoff-Verhältnis haben, in einem Lambda-Referenzkennfeld nicht abgebildet werden. Das hat zur Folge, dass die bekannte Methode zur Berücksichtigung von instationären Lambda-Abweichungen bei der DPF-Beladungsberechnung in vielen Betriebsituationen des Motors ungenau ist und den oben genannten Anforderungen von Dieselmotoren modernster Bauart nicht mehr gerecht wird.

[0035] Um diese Probleme zu überwinden, wird erfindungsgemäß ein anderer Ansatz gewählt, indem nämlich Abweichungen des Rußeintrags infolge der instationären Betriebssituation durch Berücksichtigung der Ladedruck-Regelabweichung ausgewertet werden und in die Modellierung der Rußmassenemissionen der Verbrennungskraftmaschine zur Ermittlung der DPF-Beladung einfließen. Insbesondere wird die instationäre Abweichung des Rußeintrags wenigstens in Abhängigkeit von dem vorbestimmten Ladedruck-Sollwert und einem gemessenen, tatsächlichen momentanen Ladedruck-Istwert bestimmt, vorzugsweise ferner in Abhängigkeit des gemessenen, tatsächlichen momentanen Lambda-Istwerts. Daneben kann der aktuelle Betriebspunkt, insbesondere in Form der aktuellen Motordrehzahl und des aktuellen Motordrehmoments, in das Modell einfließen. Vorzugsweise wird eine Lambda-Referenzwert λ_{REF} in Abhängigkeit von dem vorbestimmten Ladedruck-Sollwert p_{L_Soll} , dem gemessenen Ladedruck-Istwert p_{L_Ist} und dem gemessenen Lambda-Istwert λ_{Ist} bestimmt und ein Rußemissions-Referenzwert oder ein hiermit korrelierender Wert in Abhängigkeit des Lambda-Referenzwerts λ_{REF} ermittelt. Der Lambda-Referenzwert λ_{REF} entspricht demjenigen Lambda-Wert, der sich einstellen würde, wenn die Regelgröße des Ladedrucks p_L auf ihren Sollwert ausgeregelt wäre, wenn also stationäre Bedingungen vorlägen. Im Unterschied zu dem anhand der Figuren 2 und 3 dargestellten Stand der Technik, bei dem λ_{REF} in Abhängigkeit des Betriebspunkts (Drehzahl, Drehmoment) aus empirisch bestimmten Lambda-Referenzkennfeldern ermittelt wird, fließen in den erfindungsgemäß angesetzten Lambda-Referenzwert λ_{REF} ausschließlich Messwerte (Lambda-Istwert sowie Ladedruck-Istwert) und der Rechenwert des Ladedruck-Sollwerts ein. Da diese Mess- und Rechenwerte inklusive aller Einflüsse auf den Ladedruck-Sollwert (wie wechselnder Umgebungsdruck etc.) die aktuelle Betriebssituation des Motors repräsentieren, ist die erfindungsgemäße Methode λ_{REF} unabhängig von einzelnen Betriebsarten, vielmehr allgemeingültig für sämtliche Betriebsarten des Motors. Zudem stehen die Mess- und Rechengrößen in jedem Rechenschritt des elektronischen Motorsteuergeräts ohnehin zur Verfügung. Auch erfordert die Methode keine aufwändige Kalibrierung, sondern ergibt sich allein durch den erfindungsgemäßen Berechnungsansatz.

[0036] Ein Überblick des Prinzips des erfindungsgemäßen Verfahrens ist in Figur 4 dargestellt, wobei die Zweige a), c) und d) grundsätzlich nach herkömmlichen Methoden, wie sie bereits im Zusammenhang mit Figur 2 diskutiert wurden, bestimmt werden können. Wesentlicher Unterschied zu bekannten Methoden ist hier also die Vorgehensweise zur Berücksichtigung der instationären Einflüsse auf die Rußemission des Motors in Zweig b), die in Abhängigkeit des Ladedruck-Istwerts und des Ladedruck-Sollwerts und ferner optional des Lambda-Istwerts, der aktuellen Drehzahl und des aktuellen Drehmoments bestimmt wird. Aus diesen Größen wird letztendlich ein Korrekturfaktor gebildet, der durch Multiplikation mit der stationären Rußemission aus Zweig a) zu einen Rußmassenstrom (oder Rußeintrag) führt, welcher den tatsächlichen instationären Rußmassenstrom mit sehr guter Genauigkeit abbildet.

[0037] Für die Umsetzung der erfindungsgemäßen Ermittlung der Rußbeladung des Partikelfilters sind grundsätzlich unterschiedliche mathematische Berechnungsmethoden einsetzbar. Besonders bevorzugt ist jedoch ein nachfolgend dargestellter, vereinfachter Ansatz, der Vorteile angesichts Beschränkungen der Rechenleistung und des verfügbaren Speicherplatzes im Motorsteuergerät 26 aufweist und somit die Beladungsermittlung in Echtzeit erlaubt. Der Ansatz zeichnet sich darüber hinaus durch einen minimalen Aufwand für die Kalibrierung aus. Der vereinfachte Ansatz lässt sich wie folgt ableiten.

[0038] In dem Ansatz wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die instationären Abweichungen im Luft-Kraftstoff-Verhältnis (Lambda) im Wesentlichen auf Regelabweichungen des Ladedrucks zurückzuführen sind, d.h. auf eine Differenz des tatsächlich aktuell vorliegenden Ladedrucks (dem Ladedruck-Istwert) von dem Ladedruck-Sollwert (der Regelgröße). Dieser Ansatz ist dadurch gerechtfertigt, dass die Ladedruckregelung besonders große Trägheiten aufweist, wodurch bei einer dynamischen Lastpunktänderung des Fahrzeugs der tatsächlich dargestellte Ladedruck systematisch hinter dem Sollwert "hinterherhinkt". Aus diesem Grund trägt die Regelabweichung des Ladedrucks mit Abstand am stärksten zu Lambdaabweichungen und damit zu Differenzen der instationären und stationären Rußemissionen bei.

Der hier favorisierte Ansatz lässt dementsprechend Regelabweichungen der Kraftstoffzufuhr, die wesentlich geringere Trägheiten aufweist, außer Acht.

[0039] Das Luft-Kraftstoff-Verhältnis λ ist über den Zusammenhang nach Gleichung (1) definiert, worin m_L die Luftmasse, m_K die Kraftstoffmasse und r das stöchiometrische Verhältnis für eine vollständige Umsetzung des Sauerstoffanteils bedeuten.

$$\lambda = \frac{m_L}{r \cdot m_K} \quad \text{mit} \quad r \approx 14.7 \quad (1)$$

[0040] Die tatsächliche Luftmasse in einem Zylinder der Verbrennungskraftmaschine ist in einem Arbeitspunkt des Motors proportional zum Ladedruck-Istwert. Das gleiche gilt für die entsprechenden Sollwerte. Es lässt sich somit der Zusammenhang nach Gleichung (2) herstellen, worin $m_{L_{Ist}}$ der Luftmassen-Istwert (Messwert), $m_{L_{Soll}}$ der Luftmassen-Sollwert (Regelgröße), $p_{L_{Ist}}$ der Ladedruck-Istwert (Messgröße) und $p_{L_{Soll}}$ der Ladedruck-Sollwert (Regelgröße) bedeuten.

$$\frac{m_{L_{Ist}}}{m_{L_{Soll}}} = \frac{p_{L_{Ist}}}{p_{L_{Soll}}} \quad (2)$$

[0041] Der Lambda-Referenzwert λ_{REF} , der sich bei ausgeregeltem Ladedruck (d.h. $p_{L_{Ist}} = p_{L_{Soll}}$) in einem Arbeitspunkt des Motors stationär einstellen würde, lässt sich in Abhängigkeit des aktuellen, instationären Lambda-Istwertes λ_{Ist} (für $p_{L_{Ist}} \neq p_{L_{Soll}}$) mit Gleichung (3) unter der Vereinfachung $m_{K_{Ist}} = m_{K_{Soll}}$ beschreiben.

$$\lambda_{REF} = \frac{m_{L_{Soll}}}{r \cdot m_{K_{Soll}}} = \frac{m_{L_{Ist}}}{r \cdot m_{K_{Ist}}} \cdot \frac{p_{L_{Soll}}}{p_{L_{Ist}}} = \lambda_{Ist} \cdot \frac{p_{L_{Soll}}}{p_{L_{Ist}}} \quad (3)$$

[0042] Für die gesuchte Lambda-Regelabweichung $\Delta\lambda$ des Lambda-Istwertes λ_{Ist} vom stationären Lambda-Referenzwert λ_{REF} kann somit der Zusammenhang nach Gleichung (4) formuliert werden.

$$\Delta\lambda = \lambda_{REF} - \lambda_{Ist} = \lambda_{Ist} \cdot \left(\frac{p_{L_{Soll}}}{p_{L_{Ist}}} - 1 \right) \quad (4)$$

[0043] Somit hängt die Lambda-Regelabweichung $\Delta\lambda$ ausschließlich vom Lambda-Istwert λ_{Ist} vom Ladedruck-Sollwert $p_{L_{Soll}}$ und vom Ladedruck-Istwert $p_{L_{Ist}}$ ab. Der Lambda-Istwert λ_{Ist} kann in bekannter Weise mithilfe einer Lambda-sonde im Abgas gemessen werden. Ebenso kann der Ladedruck-Istwert $p_{L_{Ist}}$ mittels eines Drucksensors im Ansaugtrakt, beispielsweise in oder vor einem Ansaugkrümmer erfasst werden. Schließlich handelt es sich bei dem Ladedruck-Sollwert

[0044] $p_{L_{Soll}}$ um einen Rechenwert, der vorzugsweise betriebspunktabhängig, beispielsweise in Abhängigkeit von der aktuellen Motordrehzahl und dem aktuellen Motordrehmoment, in bekannter Weise vorbestimmt werden kann, etwa aus empirisch ermittelten und in der Motorsteuerung hinterlegten Kennfeldern. Da bei Dieselmotoren der Ladedruck in der Regel die Regelgröße für die Regelung der dem Motor zugeführten Luftmasse darstellt, werden sein Sollwert sowie sein Istwert ohnehin ständig ermittelt und liegen somit stets im Motorsteuergerät vor.

[0045] Einzelheiten zu dem bevorzugten erfindungsgemäßen Ansatz zur Ermittlung der instationären Rußemission gemäß bevorzugter Ausführung sind in Figur 5 dargestellt.

[0046] Die stationäre Rußemission kann - wie im Stand der Technik üblich - mit den Eingangsgrößen Drehzahl, Drehmoment und optional Umgebungsdruck aus gespeicherten Emissionskennfeldern, die unter stationären Bedingungen

gen für die einzelnen Betriebspunkte empirisch ermittelt wurden, dargestellt werden (Zweig a).

[0047] Zur Ermittlung eines Korrekturfaktors für den instationären Einfluss wird der Lambda-Istwert λ_{Ist} im Abgas mit der Lambdasonde 28 (S. Figur 1) im Abgas erfasst. Der Lambda-Istwert λ_{Ist} ist Eingangswert einer Kennlinie_1, welche die Rußemission oder einen hiermit korrelierenden Wert in Abhängigkeit von Lambda abbildet. Zur Veranschaulichung des prinzipiellen Zusammenhangs ist ein Beispiel einer solchen Kennlinie schematisch in Figur 6 gezeigt, wobei hier gemäß einer bevorzugten Ausführung die Rußemission in Form eines dimensionslosen normierten Rußemissionskennwerts dargestellt ist. Ausgangsgröße dieses Verfahrensschritts ist somit ein Rußemissionskennwert (Rußemissions-Istwert) für den tatsächlich gemessenen Lambdawert λ_{Ist} .

[0048] In einem weiteren oder parallelen Verfahrensschritt werden der mit dem Drucksensor 30 (Figur 1) im Ansaugtrakt gemessene Ladedruck-Istwert $p_{L_{Ist}}$ und der insbesondere kennfeldmäßig in Abhängigkeit von Drehzahl und Drehmoment ermittelte Ladedruck-Sollwert $p_{L_{Soll}}$ eingelesen und durch Division das Verhältnis aus beiden berechnet. Dieses Verhältnis wird anschließend mit dem Lambda-Istwert λ_{Ist} multipliziert, um den Lambda-Referenzwert λ_{REF} gemäß Gleichung (3) zu erhalten. Der Lambda-Referenzwert λ_{REF} ist Eingangsgröße der Kennlinie_1 gemäß Figur 6, aus der ein Rußemissionskennwert (Rußemissions-Referenzwert) für den Lambda-Referenzwert λ_{REF} ermittelt wird.

[0049] Durch Division von Rußemissions-Istwert und Rußemissions-Referenzwert wird ein Korrekturfaktor_1 erhalten, der den Lambda-Abweichungen $\Delta\lambda$ in transienten Betriebssituationen mathematisch Rechnung trägt. Der Korrekturfaktor_1 kann in einfacher Ausgestaltung der Erfindung ohne weitere Modifizierung durch Multiplikation auf die stationäre Rußemission aus Zweig a) angewendet werden und so zu einem korrigierten, instationären Rußmassenstrom führen (nicht dargestellt).

[0050] Die Genauigkeit des Verfahrens kann noch weiter verbessert werden, indem ein empirisch ermitteltes Kennfeld (Kennfeld_2 in Figur 5) eingeführt wird, das eine arbeitspunktabhängige Empfindlichkeit (Verstärkung) abbildet. In dieser Ausführung wird in Abhängigkeit des aktuellen Betriebspunktes, insbesondere in Abhängigkeit von der Drehzahl und dem Drehmoment, ein zweiter Korrekturfaktor (Korrekturfaktor_2) aus dem Kennfeld_2 ermittelt, welcher dem Arbeitspunkt der Verbrennungskraftmaschine Rechnung trägt. Durch Multiplikation des Korrekturfaktors_1 und des Korrekturfaktors_2 wird gemäß Figur 5 der Korrekturfaktor erhalten, mit dem die berechnete stationäre Rußemission multipliziert wird. Genau genommen wird nach Figur 5 die Abweichung des Korrekturfaktors_1 von 1 verstärkt gemäß:

$$\text{Korrekturfaktor} = (\text{Korrekturfaktor}_1 - 1) * \text{Korrekturfaktor}_2 + 1$$

[0051] Somit ist in quasi-stationären Betriebszuständen des Motors, in denen der Ladedruck-Sollwert ausgeregelt ist ($p_{L_{Ist}} = p_{L_{Soll}}$), der Korrekturfaktor identisch 1 unabhängig davon, wie groß der betriebspunktabhängige Korrekturfaktor_2 ist.

[0052] Anwendungsexperimente in der Praxis haben gezeigt, dass die oben beschriebene erfindungsgemäße Methode zur Ermittlung der Rußemission eines Motors bzw. einer Beladung eines DPF in Fahrzyklen mit hoher Fahrdynamik eine hohe Genauigkeit liefert, die mit den bekannten Modellfunktionen bislang nicht erreicht werden konnte.

Bezugszeichenliste

[0053]

- 10 Verbrennungskraftmaschine
- 12 Zylinder
- 14 Kraftstoffeinspritzsystem
- 16 Luftansaugrohr
- 18 Stellelement/Drosselklappe
- 20 Abgaskanal
- 22 Partikelfilter (DPF)
- 24 Katalysator
- 26 Motorsteuergerät
- 28 Lambdasonde
- 30 Drucksensor
- 32 Kennfelder/Kennlinien

n Motordrehzahl

	L	Motorlast
	λ	Luft-Kraftstoff-Verhältnis Lambda
5	λ_{Ist}	Lambda-Istwert
	λ_{REF}	Lambda-Referenzwert
	m_L	Luftmasse
10	m_L_Ist	Luftmassen-Istwert
	m_L_Soll	Luftmassen-Sollwert
15	m_K	Kraftstoffmasse
	m_K_Ist	Kraftstoffmassen-Istwert
	m_K_Soll	Kraftstoffmassen-Sollwert
20	p_L	Ladedruck
	p_L_Ist	Ladedruck-Istwert
25	p_L_Soll	Ladedruck-Sollwert

Patentansprüche

- 30 1. Verfahren zur Ermittlung einer Rußbeladung eines Partikelfilters (22), welcher in einem Abgasweg einer Verbrennungskraftmaschine (10) angeordnet ist, die mit einem vorbestimmten Kraftstoffmassen-Sollwert ($m_{K_{Soll}}$) und mit einer Luftmasse entsprechend einem vorbestimmten Ladedruck-Sollwert ($p_{L_{Soll}}$) betrieben wird, wobei zur Ermittlung der Rußbeladung in einer instationären Betriebssituation ein Rußeintrag in den Partikelfilter (22) ermittelt wird, indem der Rußeintrag für einen entsprechenden stationären Betriebspunkt bestimmt und dieser so korrigiert wird,

35 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abweichung des Rußeintrags infolge der instationären Betriebssituation berücksichtigt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abweichung des Rußeintrags infolge der instationären Betriebssituation wenigstens in Abhängigkeit von dem vorbestimmten Ladedruck-Sollwert ($p_{L_{Soll}}$) und einem gemessenen Ladedruck-Istwert ($p_{L_{Ist}}$) bestimmt wird.
- 40 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die instationäre Abweichung des Rußeintrags in Abhängigkeit von dem vorbestimmten Ladedruck-Sollwert ($p_{L_{Soll}}$), dem gemessenen Ladedruck-Istwert ($p_{L_{Ist}}$) und einem gemessenen Lambda-Istwert (λ_{Ist}) bestimmt wird.
- 45 3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Lambda-Referenzwert (λ_{REF}) in Abhängigkeit von dem vorbestimmten Ladedruck-Sollwert ($p_{L_{Soll}}$), dem gemessenen Ladedruck-Istwert ($p_{L_{Ist}}$) und dem gemessenen Lambda-Istwert (λ_{Ist}) bestimmt und ein Rußemissions-Referenzwert oder ein hiermit korrelierender Wert in Abhängigkeit des Lambda-Referenzwerts (λ_{REF}) bestimmt wird und dieser Wert in die Korrektur einfließt.
- 50 4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Lambda-Referenzwert (λ_{REF}) gemäß folgender Gleichung bestimmt wird:

$$\lambda_{REF} = \lambda_{Ist} \cdot \frac{p_{L_{Soll}}}{p_{L_{Ist}}}.$$

- 55 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Rußemissions-Istwert

oder ein hiermit korrelierender Wert in Abhängigkeit des gemessenen Lambda-Istwerts (λ_{Ist}) bestimmt wird und dieser Wert in die Korrektur einfließt.

- 5 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein erster Korrekturfaktor aus dem Verhältnis des Rußemissions-Istwerts und des Rußemissions-Referenzwerts oder aus den entsprechenden korrelierenden Werten bestimmt wird und der erste Korrekturfaktor in die Korrektur einfließt.
- 10 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die Ermittlung des Rußemissions-Referenzwerts und des Rußemissions-Istwerts beziehungsweise der entsprechenden korrelierenden Werte eine gespeicherte lambdaabhängige Kennlinie verwendet wird.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein zweiter Korrekturfaktor in Abhängigkeit von einem aktuellen Betriebspunkt der Verbrennungskraftmaschine (10) aus einem Kennfeld ermittelt wird und der zweite Korrekturfaktor in die Korrektur einfließt.
- 20 9. Steuereinrichtung (26) zur Ermittlung einer Rußbelastung eines Partikelfilters (22), die zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 eingerichtet ist.
- 25 10. Steuereinrichtung (26) nach Anspruch 9, umfassend eine gespeicherte lambdaabhängige Kennlinie, welche einen Rußemissionswert oder einen korrelierenden Wert, insbesondere einen dimensionslosen Rußemissionskennwert in Abhängigkeit von Lambda, abbildet.
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

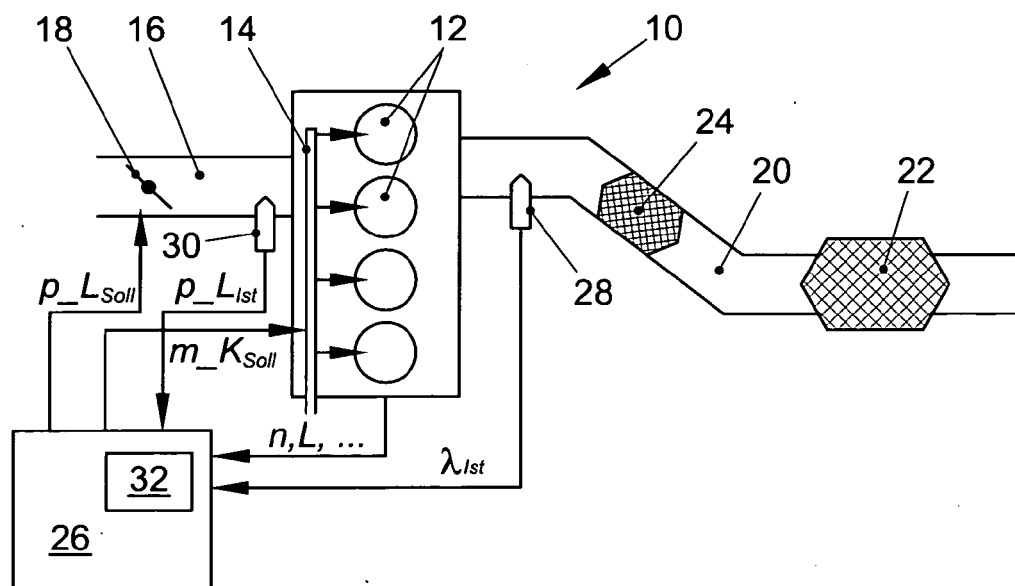


FIG. 1

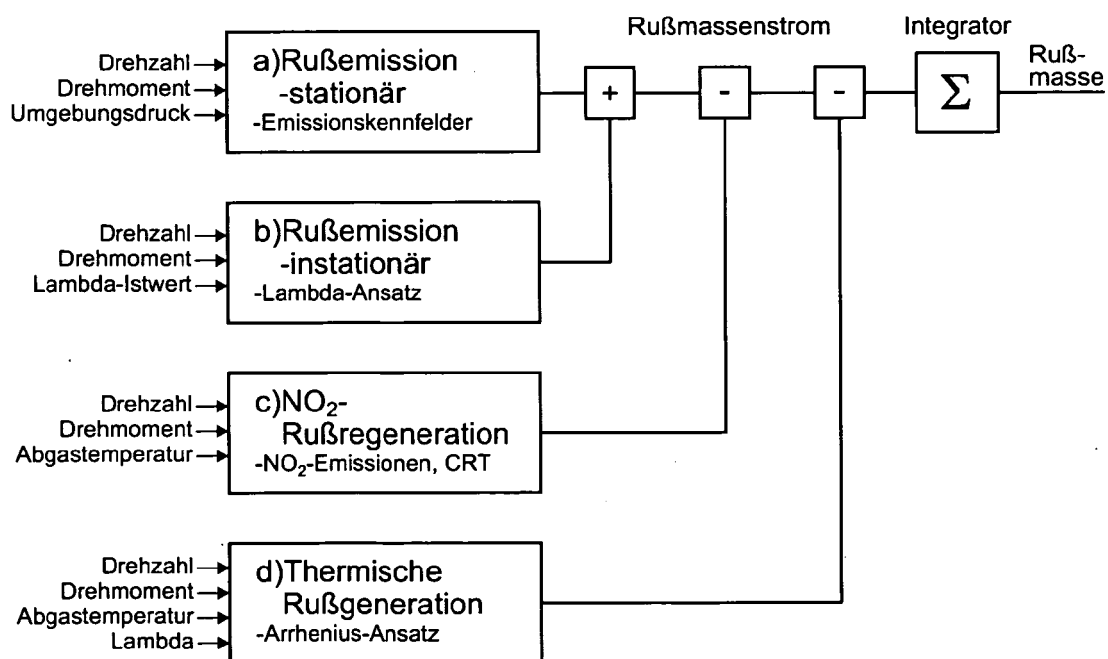


FIG. 2

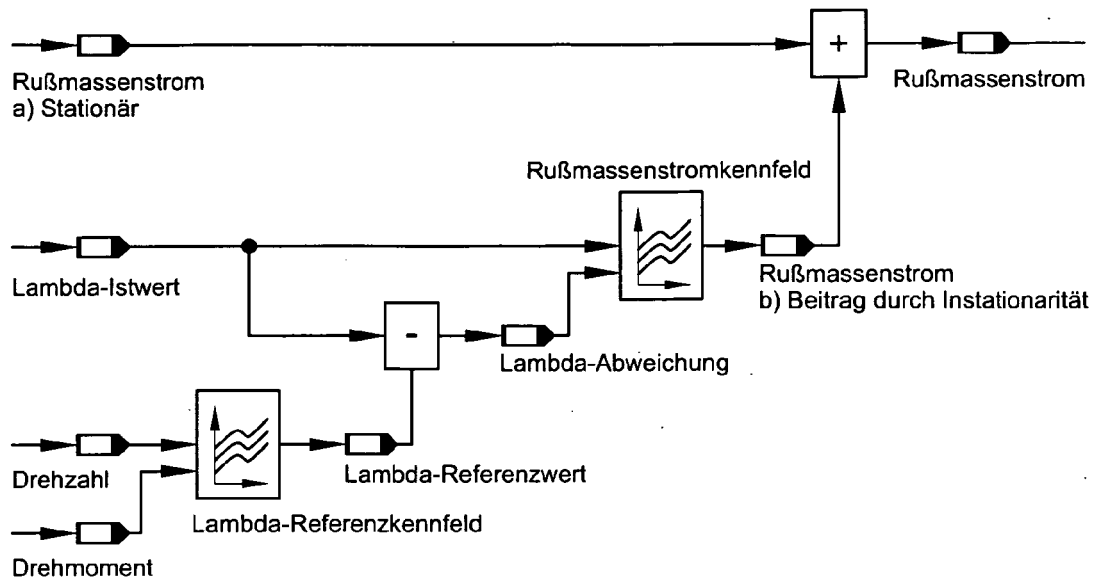


FIG. 3

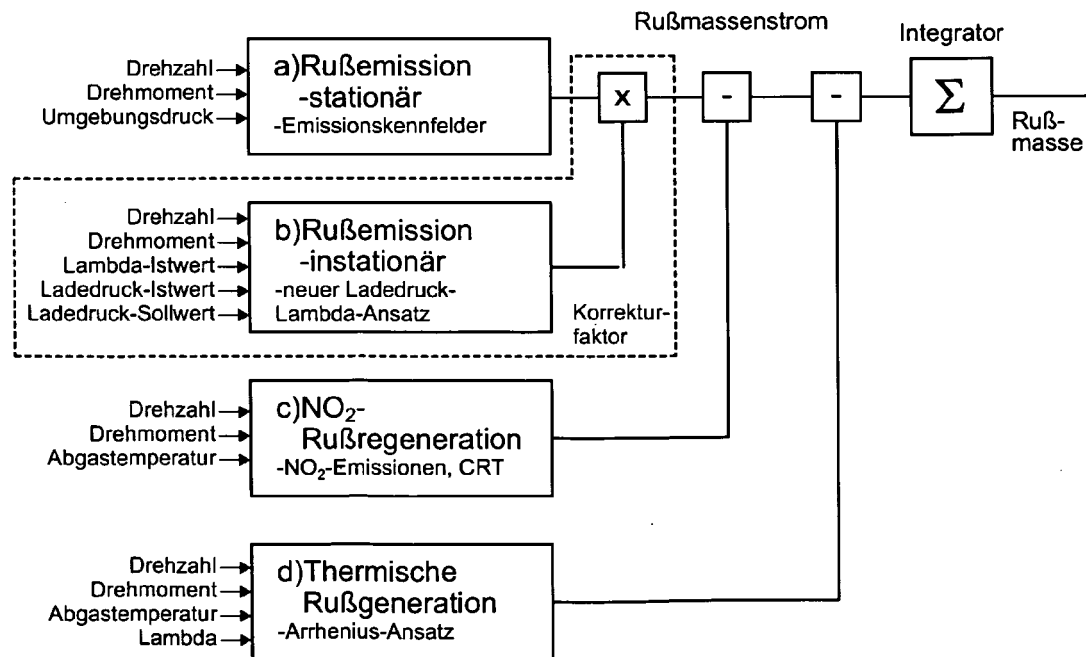


FIG. 4

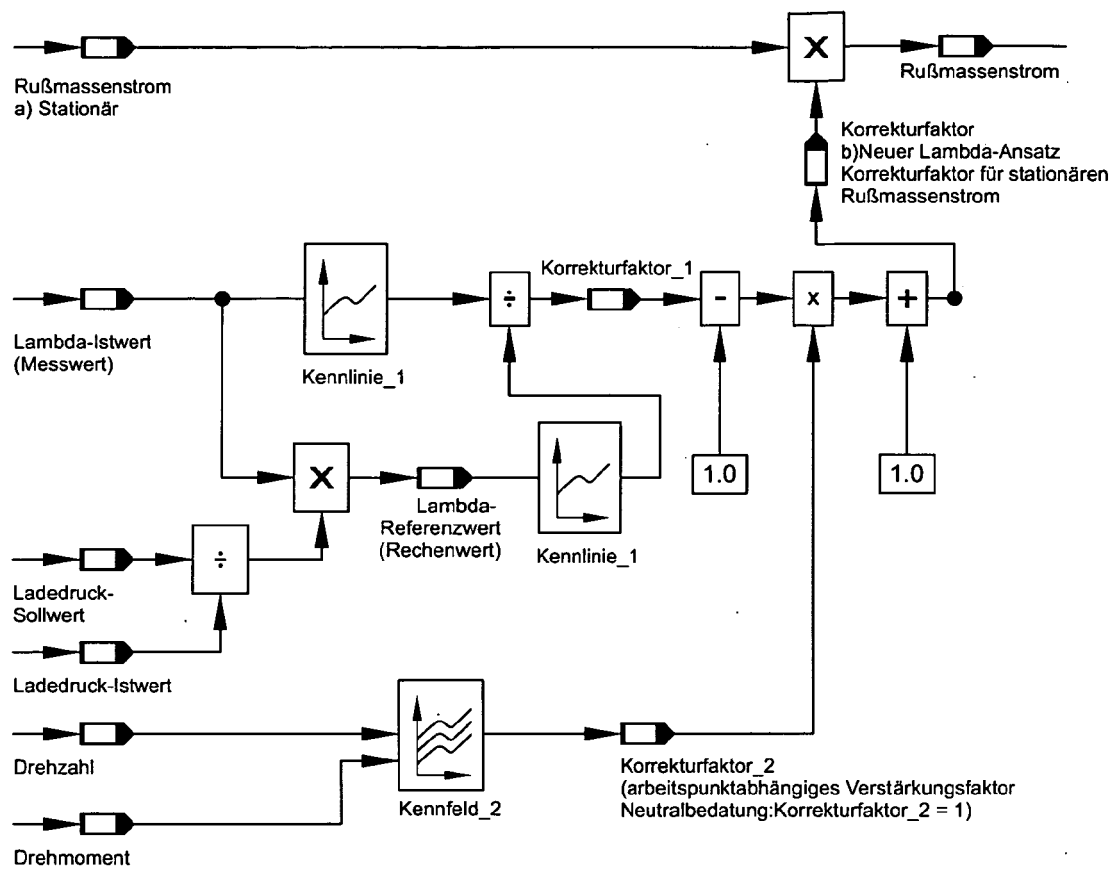


FIG. 5

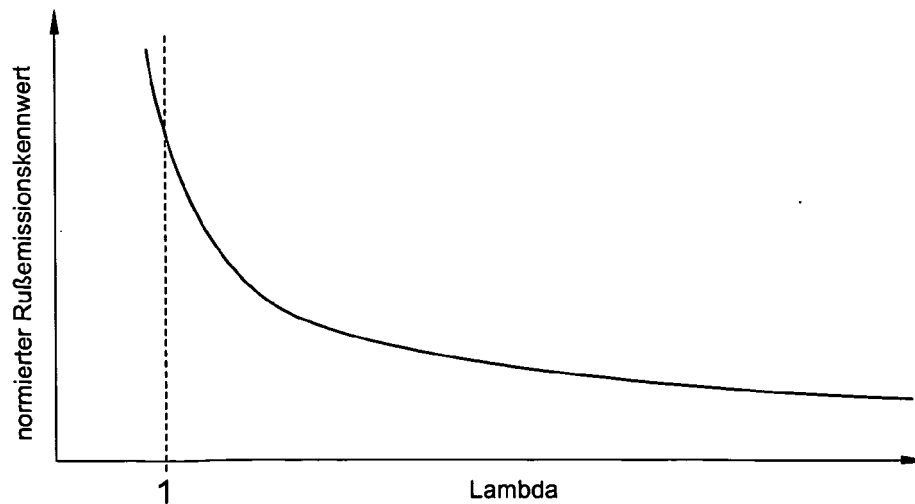


FIG. 6

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

- DE 10140048 B4 [0004]
- DE 102006055562 B4 [0007]