

WO 2015/144273 A1

BESCHREIBUNG

5 Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, Steuergerät und Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine gemäß Anspruch 1, ein Steuergerät für eine Brennkraftmaschine gemäß Anspruch 14, und eine
10 Brennkraftmaschine gemäß Anspruch 15.

Verfahren zum Betreiben von Brennkraftmaschinen, die ein Abgasnachbehandlungssystem mit einem Partikelfilter aufweisen, sind bekannt. Der Partikelfilter nimmt dabei Rußpartikel aus dem Abgas der Brennkraftmaschine auf und senkt so die Partikelkonzentration in dem letztlich
15 ausgestoßenen Abgas. Reicht eine im normalen Betrieb der Brennkraftmaschine gegebene Rußabbrandrate in dem Partikelfilter zu dessen Regeneration nicht aus, wird eine aktive Regenerationsmaßnahme durchgeführt, um den Partikelfilter zu regenerieren, beispielsweise durch Anheben der Abgastemperatur oder Erhöhen einer Stickstoffdioxidkonzentration im Abgas. Im Rahmen einer solchen Regenerationsmaßnahme wird eine vollständige Regeneration
20 des Partikelfilters, nämlich ein möglichst vollständiger Abbrand des gesamten in dem Partikelfilter angesammelten Rußes, angestrebt. Hierdurch soll ein definierter Ausgangszustand für den weiteren Betrieb des Partikelfilters herbeigeführt werden, nämlich ein unbelasteter Zustand. Es zeigt sich jedoch, dass zu Beginn der Rußbeladung eines unbelasteten Partikelfilters zunächst Poren eines Filtersubstrats mit Rußpartikeln besetzt werden, was auch als
25 Tiefenfiltration bezeichnet wird. Da die Poren Strömungspfade für das Abgas durch den Partikelfilter bereitstellen, führt die Tiefenfiltration zu einem sehr steilen Anstieg eines über dem Partikelfilter abfallenden Differenzdrucks. Erst wenn die Poren mit Rußpartikeln gefüllt sind, scheidet sich der Ruß auch auf der Oberfläche des Substrats zu einem Rußkuchen ab, was als Oberflächenfiltration bezeichnet wird. Dies führt zu einem weiteren, jedoch eher moderaten
30 Anstieg des Differenzdrucks. Insbesondere die Tiefenfiltration ist somit verantwortlich für den über dem Partikelfilter abfallenden Differenzdruck, der einen Gegendruck für die Brennkraftmaschine darstellt und sich auf den Brennstoffverbrauch auswirkt. Besonders nachteilig ist dies bei einem Partikelfilter, dessen Substrat eine funktionale Beschichtung, beispielsweise eine selektiv katalytisch reduzierende Beschichtung (SCR-Beschichtung) zur

Reduktion von Stickoxiden im Abgas, oder eine oxidativ wirkende Beschichtung zur Oxidation von Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffen oder Stickstoffmonoxid (NO), aufweist. Bei einem solchen, auch als SDPF oder cDPF beziehungsweise DDPF bezeichneten Partikelfilter ergibt sich durch die Tiefenfiltration im Vergleich zu einem unbeschichteten Partikelfilter nochmals ein deutlich höherer Gegendruck, was einen entscheidenden Nachteil dieser kombinierten Technologie aus Partikelfiltration einerseits und selektiver katalytischer Reduktion oder Oxidationskatalyse andererseits bedeutet. Wird der Partikelfilter vollständig regeneriert, beginnt nach Abschluss der Regeneration erneut die Tiefenfiltration, wobei das zuvor skizzierte Problem bestehen bleibt.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, welches die genannten Nachteile vermeidet. Weiterhin liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Steuergerät sowie eine Brennkraftmaschine zu schaffen, bei welchen die genannten Nachteile nicht auftreten.

Die Aufgabe wird gelöst, indem ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit den Merkmalen des Anspruchs 1 geschaffen wird. Dabei weist die Brennkraftmaschine ein Abgasnachbehandlungssystem mit mindestens einem Partikelfilter auf. Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass parametergesteuert eine Teilregeneration des Partikelfilters durchgeführt wird. Wird der Filter regeneriert, werden sowohl die an der Oberfläche in Form eines Rußkuchens abgelagerten Rußpartikel als auch die in den von Abgas durchströmten Poren des Substrats angeordneten Rußpartikel verbrannt. Es zeigt sich aber, dass sehr viel weniger Ruß, insbesondere ungefähr 5 bis 20 % der gesamten Rußbelastung des Partikelfilters, in den Poren vorhanden ist, während der übrige Ruß, insbesondere ungefähr 80 bis 95 % der Rußpartikel, an der Oberfläche abgelagert sind. Daher sind die Poren im Laufe der Regeneration sehr viel früher von Ruß befreit als die Oberfläche des Substrats. Wird also eine Teilregeneration durchgeführt, kann insbesondere der in den Poren abgelagerte Ruß verbrannt werden, wobei der Rußkuchen an der Oberfläche zumindest teilweise, bevorzugt überwiegend, erhalten bleibt. Nach Abschluss der Regeneration findet bei einer erneuten Beladung des Partikelfilters keine oder nur noch eine geringfügige Tiefenfiltration statt, weil der an der Oberfläche noch vorhandene Rußkuchen die Poren vor einem Eindringen von Rußpartikeln schützt. Zugleich steigert der Rußkuchen die Filterleistung des Filters, wobei es möglich ist, dass die Filtereffizienz beispielsweise im Vergleich zu 95 % bei gänzlich unbeladenem Partikelfilter auf weit über 99 % bedingt durch den Rußkuchen ansteigt. Dies bedeutet eine um einen Faktor bis tausend reduzierte Partikelzahl in

dem ausgestoßenen Abgas. Der teilregenerierte Partikelfilter weist daher eine höhere Filtereffizienz auf als ein unbeladener Partikelfilter. Zugleich sinkt der Differenzdruck auf ein deutlich niedrigeres Niveau, weil die Poren frei von Rußpartikeln sind, sodass sie ungehindert von Abgas durchströmt werden können. Die Teilregeneration zeigt also einen deutlichen

5 Hystereseeffekt über der Rußbelastung zum einen bezüglich der Filtrationseffizienz und zum anderen bezüglich des Differenzdrucks, was sowohl für den Betrieb des Partikelfilters als auch für den Betrieb der Brennkraftmaschine vorteilhaft ist.

Durch die Parametersteuerung der Teilregeneration kann sichergestellt werden, dass die in den

10 Poren des Partikelfilters abgelagerten Rußpartikel möglichst vollständig entfernt werden, wobei zugleich gewährleistet ist, dass nicht versehentlich eine vollständige Regeneration unter Entfernung des Rußkuchens durchgeführt wird. Dabei ist unter dem Begriff „parametergesteuert“ sowohl eine parameterabhängige Steuerung als auch eine parameterabhängige Regelung zu verstehen.

15 Bei einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird die Teilregeneration durchgeführt, indem eine Abgastemperatur und/oder eine Temperatur des Partikelfilters erhöht wird/werden. Hierdurch wird eine auf dem Restsauerstoffgehalt des Abgases basierte Rußoxidation beschleunigt. Die Temperaturerhöhung kann durchgeführt werden, indem der Partikelfilter

20 und/oder eine Abgasleitung geheizt wird/werden, beispielsweise mit einem externen Brenner, einem elektrischen Heizer, oder indem das Abgas durch Bereitstellung von Exothermie aufgeheizt wird, beispielsweise durch Oxidation von separat in die Abgasleitung oder als späte Nacheinspritzung in eine Brennkammer der Brennkraftmaschine eingespritztem Brennstoff an einem stromaufwärts des Partikelfilters angeordneten Oxidationskatalysator. Auch sogenannte

25 passive Regenerationsmaßnahmen zur Beschleunigung einer Stickstoffdioxid-unterstützten Rußoxidation sind möglich, beispielsweise indem eine Reduktionsmitteldosierung stromaufwärts eines SCR-Katalysators (Selective Catalytic Reduction – SCR) oder des mit einem SCR-Katalysatormaterial beschichteten Partikelfilters reduziert oder abgestellt wird, indem die Abgastemperatur durch geeignetes Thermomanagement der Brennkraftmaschine angehoben

30 wird, indem die Stickstoffdioxidausbeute durch Erhöhung einer Edelmetallmenge eines stromaufwärts des Partikelfilters angeordneten Oxidationskatalysators erhöht wird, und/oder indem die Stickoxid-Rohemission der Brennkraftmaschine erhöht wird, insbesondere durch geeignete innermotorische Maßnahmen. Solche Maßnahmen sind für sich genommen bekannt, sodass hier nicht weiter darauf eingegangen wird. Wichtig ist, dass die Maßnahmen

parametergesteuert derart durchgeführt werden, dass bedarfsgerecht eine Teilregeneration des Partikelfilters erfolgt, wobei der zuvor erläuterte Hystereseeffekt wirksam wird.

Besonders wird eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, bei welcher ein Partikelfilter
5 mit einer funktionalen Beschichtung verwendet wird. Die funktionale Beschichtung ist vorzugsweise eine selektiv katalytisch reduzierenden Beschichtung zur Reduktion von Stickoxiden, oder eine Oxidationskatalysator-Beschichtung – auch als DOC-Beschichtung bezeichnet – zur Oxidation von CO, Kohlenwasserstoffen oder NO. Es wird also vorzugsweise ein sogenannter SDPF beziehungsweise ein Partikelfilter mit SCR-Beschichtung oder ein
10 sogenannter DDPF, also ein Partikelfilter mit Oxidationsbeschichtung verwendet. Bei einem funktional beschichteten Partikelfilter ist der mit der Teilregeneration verbundene Hystereseeffekt besonders ausgeprägt, wobei insbesondere das Differenzdruckniveau durch Teilregeneration stärker abgesenkt werden kann, als dies bei einem Partikelfilter ohne funktionale Beschichtung der Fall ist. Der mit der Teilregeneration verbundene Vorteil ist also
15 bei einem beschichteten Partikelfilter stärker ausgeprägt als bei einem unbeschichteten Partikelfilter. Dadurch kann insbesondere bei einer Brennkraftmaschine, die einen solchen beschichteten Partikelfilter aufweist, mithilfe des Verfahrens eine Optimierung des Differenzdruckverhaltens und damit des Brennstoffverbrauchs durchgeführt werden. Dies ermöglicht gegebenenfalls überhaupt erst den effizienten Einsatz eines Partikelfilters mit SCR-
20 oder DOC-Beschichtung, wodurch ein Ersatz einer seriellen Anordnung von Partikelfilter und einem entsprechenden Katalysator erst wirtschaftlich wird. Die Kombination dieser beiden Elemente in einem integrierten Element bringt deutliche Vorteile in Hinblick auf Kosten, Bauraum und das Erreichen der Light-Off-Temperatur des SCR-Katalysatormaterials zur Stickoxidminderung oder der DOC-Beschichtung zur CO-, Kohlenwasserstoff- oder NO-
25 Oxidation mit sich. Diese Vorteile werden wiederum letztlich durch das hier vorgeschlagene Verfahren zugänglich gemacht, indem der wirtschaftliche Betrieb eines funktional beschichteten Partikelfilters ermöglicht wird.

Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet,
30 dass der über dem Partikelfilter abfallende Differenzdruck erfasst wird, wobei die Teilregeneration des Partikelfilters durchgeführt wird, wenn der Differenzdruck einen vorherbestimmten, oberen Druckgrenzwert erreicht oder überschreitet, wobei die Teilregeneration in Abhängigkeit von dem Differenzdruck gesteuert oder geregelt wird. Der Differenzdruck wird insoweit als Parameter für die parametergesteuerte Teilregeneration des

Partikelfilters verwendet. Dies ermöglicht eine sehr einfache und kosteneffiziente Durchführung des Verfahrens, insbesondere weil typischerweise ohnehin eine Sensoreinrichtung zur Erfassung des Differenzdrucks in dem Abgasnachbehandlungssystem vorgesehen ist, welche im Rahmen des Verfahrens verwendet werden kann.

5

Der Differenzdruck wird bevorzugt mithilfe eines Differenzdrucksensors gemessen, der in an sich bekannter Weise eine Druckdifferenz zwischen einer ersten Messstelle unmittelbar stromaufwärts des Partikelfilters und einer zweiten Messstelle unmittelbar stromabwärts des Partikelfilters bestimmt. Alternativ ist es möglich, dass die Sensoreinrichtung zur Erfassung des Differenzdrucks zwei Drucksensoren aufweist, wobei ein erster Drucksensor unmittelbar stromaufwärts des Partikelfilters und ein zweiter Drucksensor unmittelbar stromabwärts des Partikelfilters angeordnet ist. Der Differenzdruck wird dann als Differenz der von den beiden Drucksensoren erfassten Druckwerte berechnet.

10

15

Der Differenzdruck wird vorzugsweise als Maß für eine Beladung des Partikelfilters herangezogen. Hierbei wird bevorzugt ein Differenzdruckmodell verwendet, welches Beladungswerte für den Partikelfilter in Abhängigkeit von dem Differenzdruck beispielsweise in Form eines Kennfelds aufweist, oder durch welches Beladungswerte für den Partikelfilter aus dem Differenzdruck gemäß einer Formel berechenbar sind. Der vorherbestimmte, obere Druckgrenzwert korrespondiert insoweit bevorzugt zu einer Grenzbeladung des Partikelfilters, welche nicht überschritten werden sollte, um einen ungestörten Betrieb der Brennkraftmaschine zu gewährleisten.

20

25

Die Teilregeneration kann in Abhängigkeit von dem Differenzdruck gesteuert oder geregelt werden, da dieser Parameter besonders empfindlich von einer Rußpartikelbeladung der Poren abhängt. Es ist daher möglich, anhand des Differenzdrucks festzustellen, ob die Teilregeneration abgeschlossen ist.

30

Es wird eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass die Teilregeneration beendet wird, wenn der Differenzdruck einen vorherbestimmten, unteren Druckgrenzwert erreicht oder unterschreitet. Der vorherbestimmte, untere Druckgrenzwert wird dabei bevorzugt so festgelegt, dass er eine Grenze für die erfolgreich abgeschlossene Teilregeneration definiert, wobei ein weiteres Absenken des Differenzdruckniveaus nicht mehr auf Abbrand von in Poren des Filtersubstrats abgelagerten Rußpartikeln, sondern vielmehr auf

eine Entfernung des oberflächlichen Rußkuchens zurückzuführen wäre. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass die Teilregeneration zum einen möglichst vollständig durchgeführt wird, wobei zum anderen der Rußkuchen an der Oberfläche des Filtersubstrats zumindest so weitgehend erhalten bleibt, dass sich für den Partikelfilter eine verbesserte Filtereffizienz im Vergleich zum unbeladenen Zustand und eine Vermeidung einer erneuten Tiefenfiltration durch Abschirmen der Poren des Filtersubstrats durch den Rußkuchen ergibt. Insgesamt ist das Verfahren zugleich einfach und genau durchführbar, weil es ohne weiteres möglich ist, einerseits den oberen Druckgrenzwert und andererseits den unteren Druckgrenzwert in geeigneter Weise festzulegen. Diese können beispielsweise berechnet oder anhand von Prüfstandsversuchen bestimmt werden.

Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass eine Beladung des Partikelfilters ermittelt wird, wobei die Teilregeneration durchgeführt wird, wenn die Beladung einen vorherbestimmten oberen Beladungsgrenzwert erreicht oder überschreitet. Insoweit wird bei dieser Ausführungsform des Verfahrens die Beladung des Partikelfilters als Parameter für die parametergesteuerte Teilregeneration verwendet. Es ist möglich, dass die Beladung aus dem erfassten Differenzdruck bestimmt wird, beispielsweise anhand eines Kennfelds oder durch Berechnung anhand einer Formel. Es wird allerdings auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, bei welcher die Beladung unabhängig von dem Differenzdruck bestimmt wird. Dabei ist es möglich, die Beladung des Partikelfilters anhand eines Beladungsmodells zu bestimmen, welches von wenigstens einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine abhängt. Dabei kommen insbesondere innermotorische Parameter wie beispielsweise eine Drehzahl, eine Last, eine eingespritzte Brennstoffmenge, eine Brennraumtemperatur, ein Brennraumdruck, eine Abgasrückführrate, eine Frischmasse, ein Lambda-Wert, eine Stickoxidkonzentration, ein Abgasvolumenstrom oder ein Abgasmassenstrom in Frage. Alternativ oder zusätzlich kommen als Messwerte oder Daten aus einem Kennfeld eine Abgastemperatur, eine Stickoxidkonzentration, eine Stickstoffdioxidbildungsrate oder eine Rußkonzentration in Frage. Selbstverständlich kann mehr als ein Parameter zur Bestimmung der Beladung herangezogen werden, insbesondere eine Kombination aus wenigstens zwei der zuvor genannten Parameter. Diese innermotorischen Parameter sind charakteristisch für eine Rußbildung in der Brennkraftmaschine und liefern daher – insbesondere zeitabhängig betrachtet – ein Maß für die Beladung des Partikelfilters. Alternativ oder zusätzlich ist es auch möglich, die Beladung des Partikelfilters zu messen, wozu bevorzugt ein Hochfrequenz-Sensor verwendet wird. Es zeigt sich, dass die Verwendung der Beladung als

Parameter für die Steuerung oder Regelung der Teilregeneration des Partikelfilters genauer sein kann als eine rein differenzdruckbasierte Steuerung oder Regelung.

Vorzugsweise wird die Teilregeneration beendet, wenn die Beladung einen vorherbestimmten, unteren Beladungsgrenzwert erreicht oder unterschreitet. Dabei wird der untere Beladungsgrenzwert wiederum bevorzugt so festgelegt, dass eine möglichst vollständige Entfernung von Rußpartikeln aus den Poren des Filtersubstrats gewährleistet ist, wobei zugleich der oberflächliche Rußkuchen zumindest soweit erhalten bleibt, dass die Filtereffizienz des Partikelfilters im Vergleich zum unbeladenen Zustand verbessert ist, und die Poren gegen erneute Tiefenfiltration geschützt sind. Auf diese Weise ist das Verfahren sehr genau durchführbar.

Der vorherbestimmte, untere Druckgrenzwert und/oder der vorherbestimmte, untere Beladungsgrenzwert werden bevorzugt auch so gewählt, dass der Differenzdruck und damit der Gegendruck für den Abgasstrom an dem Partikelfilter sich in einem für den Betrieb der Brennkraftmaschine optimalen Bereich einstellt. Auf diese Weise kann die Brennkraftmaschine sehr effizient und insbesondere mit deutlich geringerem Brennstoffverbrauch betrieben werden.

Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass sowohl die Beladung als auch der Differenzdruck als Parameter zur Steuerung oder Regelung der Teilregeneration herangezogen werden. Dabei wird die Beladung besonders bevorzugt differenzdruckunabhängig bestimmt, nämlich entweder gemessen oder mithilfe eines Beladungsmodells in Abhängigkeit von wenigstens einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine berechnet. Auf diese Weise stehen komplementäre Informationen einerseits über den Differenzdruck und andererseits über das Beladungsmodell zur Verfügung, was die Genauigkeit des Verfahrens erheblich steigert. Die Teilregeneration kann daher sehr genau gesteuert oder geregelt werden. Dabei werden bevorzugt Kennfelder und/oder Funktionen eingesetzt, welche insbesondere die Beladung des Partikelfilters mit dem Differenzdruck bei verschiedenen Teilbeladungen verknüpfen, sodass Aussagen über den Ort und die Menge des abgelagerten Rußes erhalten werden. Es ist so sehr genau möglich festzustellen, mit welcher Rußmenge der Partikelfilter insgesamt beladen ist, und wo der Ruß angeordnet ist, nämlich als Rußkuchen an der Oberfläche des Substrats oder aber vielmehr als Rußpartikel in den Poren. Insbesondere eine Regelung der Teilregeneration ist so sehr genau möglich.

Es ist möglich, dass weitere und/oder andere Parameter zur Steuerung oder Regelung der Teilregeneration herangezogen werden. Insoweit wird bevorzugt wenigstens ein zusätzlicher und/oder anderer Parameter zur Steuerung oder Regelung der Teilregeneration verwendet.

- 5 Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, welches sich dadurch auszeichnet, dass im Anschluss an die Teilregeneration eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt wird. Dabei wird eine vollständige Regeneration des Partikelfilters durchgeführt, wenn die Plausibilitätsprüfung ein negatives Ergebnis zurückgibt. Insbesondere wird im Rahmen der Plausibilitätsprüfung vorzugsweise geprüft, ob die Poren des Partikelfilters noch hinreichend frei
10 von Rußpartikeln sind, oder ob bereits eine erneute Tiefenfiltration stattgefunden hat. Der Rußkuchen an der Oberfläche des Substrats kann nämlich nur im Idealfall vollständig verhindern, dass Rußpartikel in die Poren eindringen, sodass im Laufe der Zeit doch eine – wenn auch verzögerte – Tiefenfiltration stattfindet. Um dies zu prüfen, erfolgt im Rahmen der Plausibilitätsprüfung bevorzugt eine kombinierte Betrachtung der unabhängig von dem
15 Differenzdruck ermittelten Beladung – beispielsweise berechnet oder gemessen – mit dem Wert des Differenzdrucks. Dabei zeigt sich, ob diese Werte noch in einem Wertebereich liegen, welcher einer im wesentlichen oberflächlichen Ablagerung von Ruß an dem Partikelfilter entspricht, oder ob das Differenzdruckniveau bei gegebener Beladung bereits in einem Bereich liegt, der auf eine Tiefenfiltration hindeutet. Bei gegebener Beladung ist nämlich das
20 Differenzdruckniveau deutlich höher, wenn Rußpartikel in den Poren angelagert sind, als wenn die Poren frei sind. Wird insoweit im Rahmen der Plausibilitätsprüfung festgestellt, dass eine Tiefenfiltration stattgefunden oder eingesetzt hat, wird der Partikelfilter bevorzugt vollständig regeneriert, um wieder einen definierten Ausgangszustand herzustellen.
- 25 Hierauf folgt dann erneut eine Phase der Tiefenfiltration, an welche sich wiederum eine Phase der Oberflächenfiltration anschließt. Wird dann wiederum der vorherbestimmte, obere Druckgrenzwert oder der vorherbestimmte, obere Beladungsgrenzwert überschritten, kann erneut eine Teilregeneration durchgeführt werden, wodurch das Verfahren quasi neu beginnt.
- 30 Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass nach einem Start des Verfahrens initial eine erste Teilregeneration durchgeführt wird, wenn der Differenzdruck einen ersten, höheren oberen Druckgrenzwert erreicht oder überschreitet, wobei nachfolgende Teilregenerationen durchgeführt werden, wenn der Differenzdruck einen zweiten, niedrigeren oberen Druckgrenzwert erreicht oder überschreitet. Der erste obere

Druckgrenzwert ist demnach höher als der zweite obere Druckgrenzwert. Mit einem Start des Verfahrens ist hier die erstmalige Durchführung des Verfahrens im Neuzustand des Partikelfilters oder in vollständig regeneriertem Zustand des Partikelfilters, jedenfalls also die erste Durchführung des Verfahrens bei unbeladenem Partikelfilter, angesprochen. In diesem Fall erfolgt zuerst eine Tiefenfiltration, wobei das Differenzdruckniveau steil ansteigt. An die Phase der Tiefenfiltration schließt sich die Phase der Oberflächenfiltration an, wobei in dieser Phase nur noch ein moderater Anstieg des Differenzdruckniveaus erfolgt. Das Differenzdruckniveau liegt aber durch die erfolgte Tiefenfiltration auf einem vergleichsweise hohen Niveau. Daher wird die Teilregeneration bei Beladung des neuen oder vollständig regenerierten und insoweit unbeladenen Partikelfilters erst durchgeführt, wenn der erste, höhere obere Druckgrenzwert erreicht oder überschritten wird. Nach erfolgter Teilregeneration ist das Differenzdruckniveau aufgrund der freien Poren des Substrats und der Filterwirkung des Rußkuchens bei gegebener Beladung des Partikelfilters sehr viel niedriger, als dies im Anschluss an die Tiefenfiltration der Fall ist. Daher korrespondiert zu einer bestimmten Beladung des Partikelfilters hier ein niedrigeres Differenzdruckniveau. Eine erneute Teilregeneration wird daher durchgeführt, wenn der Differenzdruck den zweiten, niedrigeren oberen Druckgrenzwert erreicht oder überschreitet. Dabei korrespondieren die beiden oberen Druckgrenzwerte vorzugsweise insoweit miteinander, als sie einer identischen, absoluten Rußbeladung des Partikelfilters entsprechen, wobei sich lediglich die Rußverteilung in dem Partikelfilter unterscheidet: Der erste, höhere obere Druckgrenzwert ist relevant in einem Zustand, in welchem der Ruß in den Substratporen und an der Oberfläche abgelagert ist, wobei der zweite, niedrigere obere Druckgrenzwert in einem Zustand relevant ist, in welchem die Poren zumindest weitgehend von Rußpartikeln frei sind.

Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass die Plausibilitätsprüfung durchgeführt wird, indem ein erster Beladungswert für den Partikelfilter anhand des Differenzdrucks bestimmt – vorzugsweise gemäß einer Formel berechnet oder aus einem Kennfeld ausgelesen – wird, wobei ein zweiter Beladungswert unabhängig von dem Differenzdruck ermittelt wird. Der erste und der zweite Beladungswert werden miteinander verglichen. Anhand der beiden Werte kann auf eine Rußverteilung in dem Partikelfilter rückgeschlossen werden. Während der differenzdruckunabhängige Beladungswert typischerweise die absolute Beladung des Partikelfilters mit vergleichsweise geringem Fehler vorhersagt, tendiert der differenzdruckbasierte Beladungswert zu einer Überschätzung der Beladung, wenn Rußpartikel in den Poren des Filtersubstrats angeordnet sind und diese insoweit

teilweise verschließen. Eine Abweichung zwischen den beiden Beladungswerten deutet daher auf eine Rußanlagerung in den Poren und insoweit auf eine Tiefenfiltration hin.

- Bevorzugt wird eine Ausführungsform des Verfahrens, bei welcher der unabhängig von dem
- 5 Differenzdruck ermittelte Beladungswert gemessen – bevorzugt mithilfe eines Hochfrequenz-Sensors – oder anhand eines Beladungsmodells abhängig von wenigstens einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine berechnet wird. Wie bereits zuvor ausgeführt, kann so sehr genau die Gesamtrußbeladung des Partikelfilters bestimmt werden.
- 10 Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass die Plausibilitätsprüfung ein negatives Ergebnis liefert, wenn eine absolute Differenz des ersten Beladungswerts und des zweiten Beladungswerts einen vorherbestimmten Differenzgrenzwert überschreitet. Es wird also eine Differenz der Beladungswerte gebildet, wobei deren Betrag betrachtet wird. Erreicht oder überschreitet dieser den vorherbestimmten
- 15 Differenzgrenzwert, wird davon ausgegangen, dass eine Tiefenfiltration stattgefunden hat beziehungsweise die Poren des Substrats mit Rußpartikeln beladen sind. Hierauf kann geschlossen werden, weil der differenzdruckbasierte Beladungswert dazu tendiert, die tatsächliche Beladung des Partikelfilters zu überschätzen, wenn eine Tiefenfiltration stattgefunden hat, während der differenzdruckunabhängige Beladungswert eine vergleichsweise
- 20 fehlerfreie Voraussage der absoluten Rußbeladung des Partikelfilters erlaubt.
- Alternativ zu seiner Differenzbildung und/oder zu einem direkten Vergleich der beiden Beladungswerte ist es auch möglich, diese mit in Kennfeldern hinterlegten Werten zu vergleichen, um die Plausibilitätsprüfung durchzuführen.
- 25 Schließlich wird eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass eine Rußabbrandrate in die Steuerung oder Regelung der Teilregeneration einbezogen wird. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass die Rußabbrandrate in die Plausibilitätsprüfung einbezogen wird. Typischerweise ist in einem Steuergerät der Brennkraftmaschine eine Methode
- 30 zur Berechnung einer Rußabbrandrate implementiert. Die Genauigkeit des Verfahrens kann gesteigert werden, wenn diese bei der Steuerung oder Regelung der Teilregeneration und/oder bei der Plausibilitätsprüfung mit berücksichtigt wird.

Die Aufgabe wird auch gelöst, indem ein Steuergerät mit den Merkmalen des Anspruchs 14 geschaffen wird. Dieses ist eingerichtet zur Durchführung eines Verfahrens zum Betreiben einer Brennkraftmaschine gemäß einer der zuvor beschriebenen Ausführungsformen. Dabei ergeben sich in Zusammenhang mit dem Steuergerät die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Verfahren erläutert wurden.

Es ist möglich, dass das Verfahren fest in eine elektronische Struktur, insbesondere eine Hardwarestruktur, des Steuergeräts implementiert ist. Alternativ ist bevorzugt vorgesehen, dass ein Computerprogrammprodukt in das Steuergerät geladen ist, welches Anweisungen aufweist, aufgrund derer das Verfahren durchführbar ist, wenn das Computerprogrammprodukt auf dem Steuergerät ausgeführt wird.

Bevorzugt ist das Steuergerät in ein Steuergerät der Brennkraftmaschine (Engine Control Unit – ECU) integriert, oder als Steuergerät der Brennkraftmaschine ausgebildet. Insbesondere ist es möglich, dass das Verfahren in Form eines zusätzlichen Moduls oder einer zusätzlichen Methode in das Steuergerät der Brennkraftmaschine implementiert ist. Dies ist besonders vorteilhaft möglich, weil das Steuergerät der Brennkraftmaschine typischerweise ohnehin Wirkverbindungen und/oder Schnittstellen zur Erfassung der verschiedenen im Rahmen des Verfahrens verwendeten Parameter aufweist und außerdem typischerweise auch ohnehin Kennfelder oder Modelle zur differenzdruckbasierten und/oder differenzdruckunabhängigen Berechnung einer Beladung des Partikelfilters aufweist. Diese sind zur Durchführung des Verfahrens allerdings bevorzugt in Hinblick auf ihre Funktionalität erweitert.

Alternativ ist es möglich, dass das Steuergerät als separates Steuergerät zur Durchführung des Verfahrens ausgebildet ist. Es ist in diesem Fall bevorzugt mit dem Steuergerät der Brennkraftmaschine wirkverbunden, um beispielsweise Informationen über Betriebsparameter der Brennkraftmaschine und/oder in dem Steuergerät der Brennkraftmaschine vorhandene Messwerte austauschen zu können. Alternativ ist es auch möglich, dass das Steuergerät vollständig separat ist, wobei dann eigene entsprechende Wirkverbindungen und/oder Schnittstellen zu den im Rahmen des Verfahrens angesprochene Sensoren nötig sind, und wobei in das Steuergerät im Rahmen des Verfahrens benötigte Modelle und/oder Kennfelder implementiert sind.

Das Steuergerät zeichnet sich bevorzugt durch wenigstens ein Merkmal aus, welches durch wenigstens einen Verfahrensschritt des Verfahrens bedingt ist.

Schließlich wird die Aufgabe gelöst, indem eine Brennkraftmaschine mit den Merkmalen des Anspruchs 15 geschaffen wird. Diese zeichnet sich durch ein Steuergerät nach einem der zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiele aus. Insoweit verwirklichen sich in Zusammenhang mit der Brennkraftmaschine die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Steuergerät und dem Verfahren erläutert wurden.

- 10 Die Brennkraftmaschine ist vorzugsweise als Hubkolbenmotor ausgebildet. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, dass die Brennkraftmaschine in einem Personenkraftwagen oder einem Nutzfahrzeug, beispielsweise einem Lastkraftwagen, eingesetzt wird, wobei sie insbesondere dem Antrieb eines solchen Kraftfahrzeugs dient. Bei einem anderen bevorzugten Ausführungsbeispiel dient die Brennkraftmaschine dem Antrieb
- 15 insbesondere schwerer Land- oder Wasserfahrzeuge, beispielsweise von Minenfahrzeugen, Zügen, wobei die Brennkraftmaschine in einer Lokomotive oder einem Triebwagen eingesetzt wird, oder von Schiffen. Auch ein Einsatz der Brennkraftmaschine zum Antrieb eines der Verteidigung dienenden Fahrzeugs, beispielsweise eines Panzers, ist möglich. Ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine wird vorzugsweise auch stationär, beispielsweise
- 20 zur stationären Energieversorgung im Notstrombetrieb, Dauerlastbetrieb oder Spitzenlastbetrieb eingesetzt, wobei die Brennkraftmaschine in diesem Fall vorzugsweise einen Generator antreibt. Auch eine stationäre Anwendung der Brennkraftmaschine zum Antrieb von Hilfsaggregaten, beispielsweise von Feuerlöschpumpen auf Bohrinseln, ist möglich. Weiterhin ist eine Anwendung der Brennkraftmaschine im Bereich der Förderung fossiler Roh- und insbesondere
- 25 Brennstoffe, beispielsweise Öl und/oder Gas, möglich. Auch eine Verwendung der Brennkraftmaschine im industriellen Bereich oder im Konstruktionsbereich, beispielsweise in einer Konstruktions- oder Baumaschine, zum Beispiel in einem Kran oder einem Bagger, ist möglich. Die Brennkraftmaschine ist vorzugsweise als Dieselmotor oder als Benzinmotor ausgebildet.

30

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine;

Figur 2 eine schematische Darstellung einer Abhängigkeit des Differenzdrucks über dem Partikelfilter von dessen Beladung, und

5 Figur 3 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des Verfahrens in Form eines Flussdiagramms.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine 1 mit einem Abgasnachbehandlungssystem 3. Dieses weist einen Partikelfilter 5 auf, der
10 seinerseits bevorzugt eine funktionale Beschichtung, bevorzugt eine selektiv katalytisch reduzierend wirkende Beschichtung (SCR-Beschichtung) oder eine oxidativ wirkende Beschichtung (DOC-Beschichtung), aufweist. Der Partikelfilter 5 ist insoweit bevorzugt als sogenannter SDPF oder cDPF oder DDPF ausgebildet.

15 Zur Messung eines über dem Partikelfilter 5 in dem Abgasnachbehandlungssystem 3 abfallenden Differenzdruck ist bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel ein Differenzdrucksensor 7 vorgesehen, der eine Druckdifferenz zwischen dem Druck an einem Ort einer ersten Messstelle 9, die unmittelbar stromaufwärts des Partikelfilters 5 vorgesehen ist, und dem Druck am Ort einer zweiten Messstelle 11, die unmittelbar stromabwärts des Partikelfilters 5 vorgesehen ist,
20 misst. Alternativ ist es möglich, dass vorzugsweise an den Orten der ersten und zweiten Messstellen 9, 11 jeweils ein Drucksensor vorgesehen ist, wobei der Differenzdruck durch Differenzbildung der Messwerte der beiden Drucksensoren ermittelt wird.

Es ist ein Steuergerät 13 vorgesehen, das eingerichtet ist zur Durchführung eines Verfahrens zum
25 Betreiben der Brennkraftmaschine 1, wobei eine parametergesteuerte Teilregeneration des Partikelfilters 5 durchgeführt wird. Hierzu ist das Steuergerät 13 zur Erfassung des Differenzdrucks mit dem Differenzdrucksensor 7 wirkverbunden. Es ist weiterhin mit einer Sensoreinrichtung 15 wirkverbunden, die eingerichtet und angeordnet ist, um wenigstens einen Betriebsparameter der Brennkraftmaschine 1 zu erfassen. Dieser wird in dem Steuergerät 13
30 bevorzugt zur Ermittlung einer differenzdruckunabhängig bestimmbarer Beladung des Partikelfilters 5 verwendet.

Alternativ oder zusätzlich ist das Steuergerät 13 vorzugsweise mit einem Beladungssensor 17 wirkverbunden, der eingerichtet ist zur Ermittlung einer Beladung des Partikelfilters 5, wobei der Beladungssensor 17 vorzugsweise auf Hochfrequenz-Technologie basiert.

- 5 Das Steuergerät 13 ist somit eingerichtet zur Erfassung des Differenzdrucks und vorzugsweise zur Bestimmung einer Beladung des Partikelfilters 5 in Abhängigkeit von dem Differenzdruck, insbesondere anhand eines Kennfelds oder anhand eines differenzdruckabhängigen Beladungsmodells, vorzugsweise durch Berechnung gemäß einer Formel. Das Steuergerät 13 ist bevorzugt alternativ oder zusätzlich ausgebildet zur Erfassung einer Beladung des Partikelfilters
- 10 unabhängig von dem Differenzdruck, insbesondere anhand eines Beladungsmodells, das von wenigstens einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine 1 abhängt, und/oder durch Messung mittels des Beladungssensors 17. Das Steuergerät 13 ist eingerichtet zur gesteuerten oder geregelten Teilregeneration des Partikelfilters unter Verwendung der – vorzugsweise differenzdruckunabhängig ermittelten – Beladung und/oder des Differenzdrucks als Parameter.
- 15 Weiterhin ist das Steuergerät 13 bevorzugt eingerichtet zur Durchführung einer Plausibilitätsprüfung sowie zur Durchführung einer vollständigen Regeneration des Partikelfilters, wenn die Plausibilitätsprüfung ein negatives Ergebnis zurückgibt. Insgesamt ist das Steuergerät bevorzugt eingerichtet zur Durchführung einer der zuvor beschriebenen Ausführungsformen des Verfahrens.
- 20 Vorzugsweise ist das Steuergerät 13 als Steuergerät der Brennkraftmaschine 1 ausgebildet oder in dieses integriert. Alternativ ist es möglich, dass das Steuergerät 13 als separates Steuergerät vorgesehen ist.
- 25 **Fig. 2** zeigt eine schematische, diagrammatische Darstellung eines über dem Partikelfilter 5 abfallenden Differenzdrucks dp in Abhängigkeit von einer Beladung B des Partikelfilters 5. Dabei gibt eine erste durchgezogene Kurve 19 den Verlauf des Differenzdrucks dp in Abhängigkeit von der Beladung B für einen unbeladenen Partikelfilter 5, insbesondere für einen neuen oder zuvor vollständig regenerierten Partikelfilter 5 an. Dabei zeigt sich, dass zunächst in
- 30 einem ersten Bereich 19.1 der Kurve 19 eine vergleichsweise große Steigung des Differenzdrucks dp in Abhängigkeit von der Beladung B vorliegt. Dies ist der Bereich, indem eine Tiefenfiltration erfolgt, wobei Poren des Filtersubstrats mit Rußpartikeln beladen werden. Bei einer bestimmten Beladung B_1 ist die Tiefenfiltration abgeschlossen, die Poren sind mit Ruß gefüllt, und dieser scheidet sich auf der Oberfläche der Wandung des Filtersubstrats zu einem

Rußkuchen ab, was auch als Oberflächenfiltration bezeichnet wird. Dies führt zu einem weiteren, jedoch nun eher moderaten Anstieg des Differenzdruckniveaus dp mit kleinerer Steigung in einem zweiten Bereich 19.2 der Kurve 19.

- 5 Wird ein erster, höherer oberer Druckgrenzwert dp_A erreicht, weist der Partikelfilter 5 eine Beladung B_2 auf. Dabei ist der erste, obere Druckgrenzwert dp_A bevorzugt so gewählt, dass die Beladung B_2 einer bestimmten Grenzbeladung des Partikelfilters 5 entspricht, bei welcher dieser regeneriert werden sollte, um einen störungsfreien Betrieb der Brennkraftmaschine 1 zu gewährleisten.

10

Wird nun der Partikelfilter 5 vollständig regeneriert, startet danach ein neuer Beladungszyklus im Ursprung des Diagramms gemäß Figur 2 entlang der Kurve 19. Es erfolgt also erneut zunächst eine Tiefenfiltration und danach eine Oberflächenfiltration, wobei insgesamt ein sehr hohes Differenzdruckniveau erreicht wird, bei welchem die Brennkraftmaschine 1 einen

- 15 vergleichsweisen hohen Brennstoffverbrauch aufweist. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der Partikelfilter 5 eine funktionale Beschichtung aufweist.

Mit einem strichpunktierten Pfeil P ist dagegen dargestellt, wie sich der Differenzdruck dp und die Beladung B bei Teilregeneration des Partikelfilters 5 verhalten. Dabei wird insbesondere der in den Poren angeordnete Ruß verbrannt. Die Teilregeneration wird bevorzugt beendet, wenn der Differenzdruck dp einen vorherbestimmten, unteren Druckgrenzwert dp_C , erreicht. In diesem Zustand sind die Poren des Filtersubstrats zumindest weitestgehend von Ruß frei, zugleich weist jedoch die Wandung des Substrats einen Rußkuchen auf, welcher die Filtereffizienz des Partikelfilters 5 deutlich erhöht und die Poren vor Einlagerung von neuem Ruß, mithin vor einer Tiefenfiltration, schützt, indem er Rußpartikel vom Eindringen in die Poren abhält. Daher folgt ausgehend von dem unteren Druckgrenzwert dp_C , der vorzugsweise so gewählt wird, dass der Partikelfilter 5 hier die Beladung B_1 aufweist, eine Oberflächenfiltration entlang einer zweiten durchgezogenen Kurve 21, welche bei deutlich niedrigerem Druckniveau parallel zu dem zweiten Bereich 19.2 der Kurve 19 verläuft. Somit ist das Differenzdruckniveau bei gleicher Beladung B des Partikelfilters 5 nach der Teilregeneration niedriger als dies im zuvor unbeladenen oder vollständig regenerierten Zustand des Partikelfilters 5 der Fall ist. Insoweit weist der Partikelfilter 5 – insbesondere als SDPF, cDPF oder DDPF – bei Teilregeneration einen deutlichen Hysterese-Effekt auf.

30

Der untere Druckgrenzwert dp_C wird vorzugsweise so gewählt, dass er in einem für den Betrieb der Brennkraftmaschine 1 optimalen Bereich liegt.

Betrachtet man die Kurve 21, zeigt sich, dass nun die Beladung B_2 bei einem zweiten, niedrigeren oberen Druckgrenzwert dp_B erreicht wird. Ist dies der Fall, wird der Partikelfilter 5 vorzugsweise erneut teilregeneriert. Im Idealfall wird dabei wiederum der Punkt beziehungsweise das Wertepaar dp_C, B_1 , mithin der erste Beladungswert B_1 bei dem unteren Druckgrenzwert dp_C , erreicht.

Im Laufe der Zeit ist es allerdings möglich, dass doch wieder eine Tiefenfiltration stattfindet, wobei das Differenzdruckniveau bei gegebener Beladung B steigt. Es kann dabei sein, dass die zweite Kurve 21 nach oben parallel versetzt wird und/oder dass deren Steigung größer wird. Jedenfalls erhöht sich der Differenzdruck dp mit zunehmender Tiefenfiltration bei gegebener Beladung B .

Dies wird im Rahmen einer Plausibilitätsprüfung nach jeder Teilregeneration des Partikelfilters 5 geprüft, wobei spätestens dann, wenn der Differenzdruck dp bei gegebener Beladung B wieder auf der ersten Kurve 19 liegt, eine vollständige Regeneration des Partikelfilters 5 durchgeführt wird, um einen definierten Ausgangszustand zu erreichen.

Ausgehend hiervon wird dann wiederum zunächst die Kurve 19 durchlaufen, bevor erneut die erste, insoweit initiale Teilregeneration entlang des Pfeils P ausgehend von dem ersten oberen Druckgrenzwert dp_A durchgeführt wird.

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des Verfahrens in Form eines Flussdiagramms. Das Verfahren startet in einem ersten Schritt $S1$. In einer Abfrage $S2$ wird geprüft, ob der Differenzdruck dp größer ist als der erste, höhere obere Druckgrenzwert dp_A . Alternativ ist es auch möglich, dass hier geprüft wird, ob der Differenzdruck dp größer oder gleich dem ersten, oberen Druckgrenzwert dp_A ist. Ist dies nicht der Fall, ist also insbesondere der Differenzdruck dp kleiner als der erste, höhere obere Druckgrenzwert dp_A , springt das Verfahren zurück zu einer Sprungstelle 23, von der ausgehend wiederum die Abfrage $S2$ durchgeführt wird.

Dies wird solange iteriert, bis der Differenzdruck dp größer oder gleich dem ersten oberen Druckgrenzwert dp_A ist. Ist dies der Fall, wird in einem dritten Schritt S3 eine Teilregeneration des Partikelfilters 5 durchgeführt. Diese wird vorzugsweise beendet, wenn der Differenzdruck dp den unteren Druckgrenzwert dp_C erreicht oder unterschreitet.

5

Danach erfolgt in einem vierten Schritt S4 eine Plausibilitätsprüfung, durch die bevorzugt eine unabhängig von dem Differenzdruck dp ermittelte Beladung B des Partikelfilters 5 in Beziehung zu dem Differenzdruck dp gesetzt wird. Betrachtet man Figur 2, zeigt sich, dass es auf diese Weise offensichtlich möglich ist festzustellen, ob der Partikelfilter 5 noch im Bereich der zweiten Kurve 21 arbeitet, oder ob bereits eine erneute Tiefenfiltration eingesetzt hat, wobei in diesem Fall der Differenzdruck dp von der zweiten Kurve 21 bei gegebener Beladung B nach oben abweicht.

10

15

Die Plausibilitätsprüfung in dem Schritt S4 wird bevorzugt gemäß einer der zuvor beschriebenen Ausführungsformen durchgeführt.

20

Liefert die Plausibilitätsprüfung ein positives Ergebnis zurück, hat also noch keine oder zumindest keine relevante Beladung der Poren des Substrats mit Rußpartikeln stattgefunden, wird das Verfahren in einer Abfrage S5 fortgesetzt, in der geprüft wird, ob der Differenzdruck dp größer ist als der zweite, niedrigere obere Druckgrenzwert dp_B . Alternativ ist es möglich, dass in der Abfrage S5 geprüft wird, ob der Differenzdruck dp größer oder gleich dem zweiten, oberen Druckgrenzwert dp_B ist. Ist dies nicht der Fall, springt das Verfahren zurück zu einer Sprungstelle 25, und die Abfrage S4 wird erneut durchgeführt. Diese Vorgehensweise wird solange iteriert, bis der Differenzdruck dp größer oder gleich dem zweiten, oberen Druckgrenzwert dp_B ist. Ist dies der Fall, springt das Verfahren zurück zu einer Sprungstelle 27, und es wird erneut in dem Schritt S3 die Teilregeneration des Partikelfilters 5 durchgeführt. Anschließend folgt wiederum die Plausibilitätsprüfung in dem vierten Schritt S4.

25

30

In diesem Zusammenhang wird folgendes deutlich: Nach dem Start des Verfahrens in dem ersten Schritt S1 wird zunächst initial eine erste Teilregeneration in dem dritten Schritt S3 durchgeführt, wenn der Differenzdruck dp den ersten, höheren oberen Druckgrenzwert dp_A erreicht oder überschreitet. Anschließend durchläuft das Verfahren iterierend eine Schleife 29, solange die Plausibilitätsprüfung ein positives Ergebnis zurückgibt. Dabei wird in der Schleife

29 stets dann eine Teilregeneration durchgeführt, wenn der Differenzdruck dp den zweiten, niedrigeren oberen Druckgrenzwert dp_B erreicht oder überschreitet.

5 Liefert die Plausibilitätsprüfung in dem vierten Schritt S4 ein negatives Ergebnis zurück, wird in einem sechsten Schritt S6 eine vollständige Regeneration des Partikelfilters 5 durchgeführt wird. Das Verfahren springt nach Abschluss der vollständigen Regeneration zu der ersten Sprungstelle 23, was quasi einem Neustart des Verfahrens entspricht. Dies korrespondiert damit, dass der Partikelfilter 5 nach der vollständigen Regeneration wieder in unbeladenem Zustand vorliegt. Daher wird nun wieder Teilregeneration durchgeführt, wenn der Differenzdruck den
10 ersten, höheren oberen Druckgrenzwert dp_A erreicht oder überschreitet.

Insgesamt zeigt sich, dass mittels des Verfahrens ein besonders effizienter und ökonomischer Betrieb eines Partikelfilters 5, insbesondere eines Partikelfilters 5 mit funktionaler Beschichtung, insbesondere mit SCR- oder DOC-Beschichtung, möglich ist, wobei das Verfahren gerade einen
15 Einsatz dieser kombinierten Technologie wirtschaftlich macht.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1) mit einem
5 Abgasnachbehandlungssystem (3), das mindestens einen Partikelfilter (5) aufweist,
gekennzeichnet durch eine parametergesteuerte Teilregeneration des Partikelfilters (5).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Partikelfilter
10 (5) verwendet wird, der eine funktionale Beschichtung, insbesondere eine selektiv
katalytisch reduzierende oder eine oxidativ wirkende Beschichtung, aufweist.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein
über dem Partikelfilter (5) abfallender Differenzdruck (dp) erfasst wird, wobei eine
Teilregeneration des Partikelfilters (5) durchgeführt wird, wenn der Differenzdruck (dp)
15 einen vorherbestimmten oberen Druckgrenzwert (dp_A , dp_B) erreicht oder überschreitet,
wobei die Teilregeneration in Abhängigkeit von dem Differenzdruck (dp) gesteuert oder
geregelt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die
20 Teilregeneration beendet wird, wenn der Differenzdruck (dp) einen vorherbestimmten
unteren Druckgrenzwert (dp_C) erreicht oder unterschreitet.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine
Beladung (B) des Partikelfilters (5) ermittelt wird, wobei die Teilregeneration
25 durchgeführt wird, wenn die Beladung (B) einen vorherbestimmten oberen
Beladungsgrenzwert erreicht oder überschreitet.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die
Teilregeneration beendet wird, wenn die Beladung (B) einen vorherbestimmten unteren
30 Beladungsgrenzwert erreicht oder unterschreitet.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Beladung (B) und der Differenzdruck (dp) als Parameter zur Steuerung oder Regelung der Teilregeneration herangezogen werden.
- 5 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach der Teilregeneration eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt wird, wobei eine vollständige Regeneration des Partikelfilters (5) durchgeführt wird, wenn die Plausibilitätsprüfung ein negatives Ergebnis zurückgibt.
- 10 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach einem Start des Verfahrens initial eine erste Teilregeneration durchgeführt wird, wenn der Differenzdruck einen ersten, höheren oberen Druckgrenzwert (dp_A) erreicht oder überschreitet, wobei nachfolgende Teilregenerationen durchgeführt werden, wenn der Differenzdruck (dp) einen zweiten, niedrigeren oberen Druckgrenzwert (dp_B)
15 erreicht oder überschreitet.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Plausibilitätsprüfung durchgeführt wird, indem ein erster Beladungswert für den Partikelfilter (5) anhand des Differenzdrucks bestimmt wird, wobei ein zweiter
20 Beladungswert unabhängig von dem Differenzdruck (dp) ermittelt wird, wobei der erste und der zweite Beladungswert miteinander verglichen werden.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Beladungswert gemessen oder anhand eines Beladungsmodells abhängig von
25 wenigstens einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine (1) berechnet wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Plausibilitätsprüfung ein negatives Ergebnis zurückgibt, wenn eine absolute Differenz zwischen dem ersten und dem zweiten Beladungswert einen vorherbestimmten
30 Differenzgrenzwert überschreitet.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Rußabbrandrate in die Steuerung oder Regelung der Teilregeneration und/oder in die Plausibilitätsprüfung einbezogen wird.

14. Steuergerät für eine Brennkraftmaschine (1), dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät (13) eingerichtet ist zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13.

5

15. Brennkraftmaschine (1), gekennzeichnet durch ein Steuergerät (13) nach Anspruch 14.

1/2

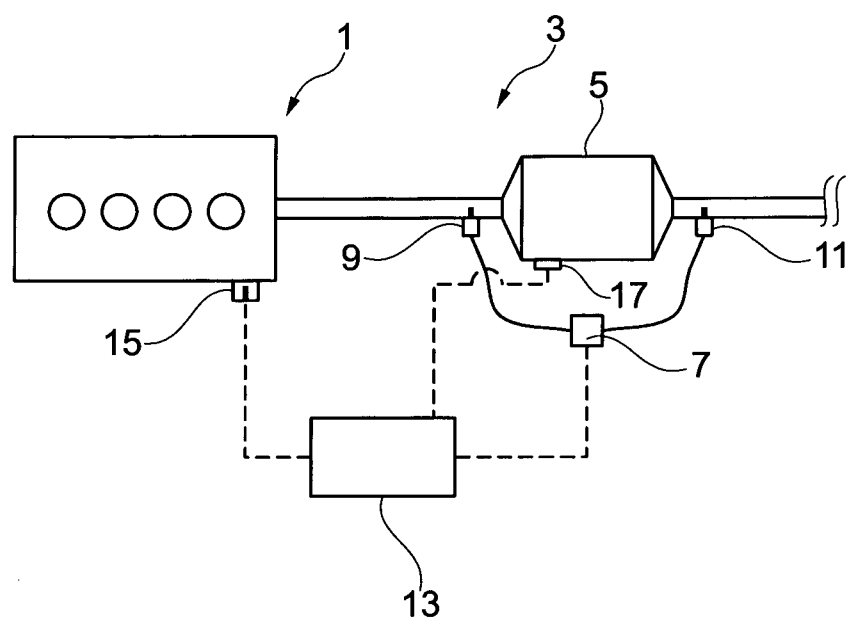


Fig. 1

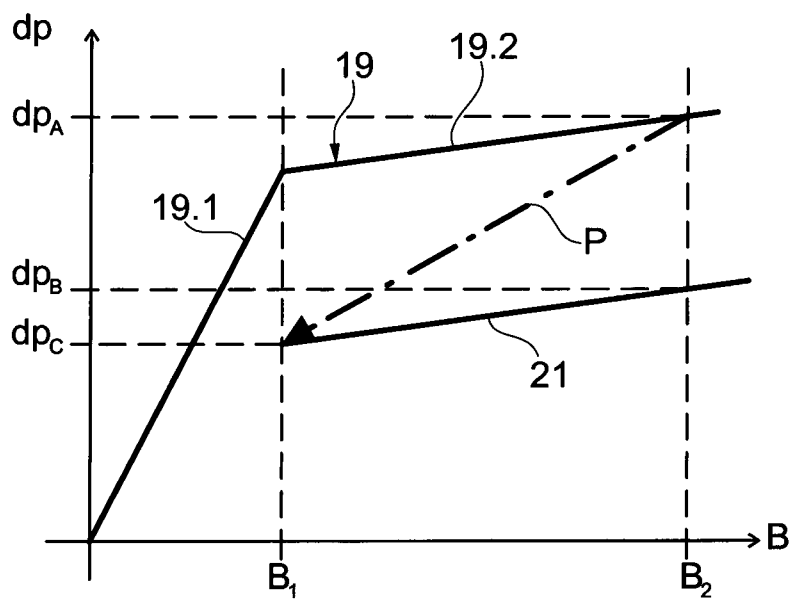


Fig. 2

2/2

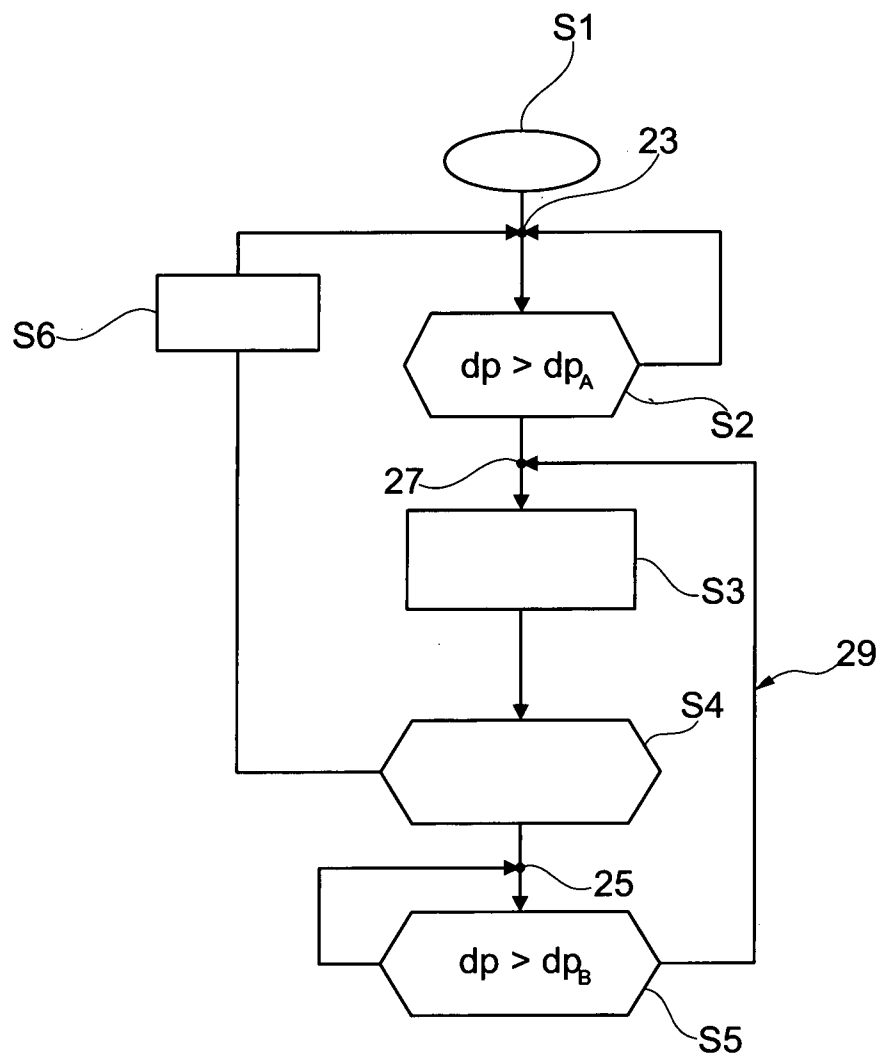


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/000219

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F01N9/00 F01N3/023 F01N3/035
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2003/131592 A1 (SAITO MAKOTO [JP] ET AL) 17 July 2003 (2003-07-17) paragraphs [0021], [0034] - [0040]; figures 1-5	1-15
X	WO 2012/030278 A1 (SCANIA CV AB [SE]; KARLSSON CARL-JOHAN [SE]; TELBORN KLAS [SE]) 8 March 2012 (2012-03-08) pages 14,16,20; figures 2,3,4	1,3-12, 14,15
X	EP 2 390 480 A1 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 30 November 2011 (2011-11-30) paragraphs [0040], [0041], [0102] - [0104], [0110]; figures 1,5,12 ----- -/--	1-7, 9-11, 13-15



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

8 April 2015

Date of mailing of the international search report

17/04/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Blanc, Sébastien

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2015/000219

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 2 923 531 A1 (RENAULT SAS [FR]) 15 May 2009 (2009-05-15) pages 1,4; claim 1; figure 2 -----	1,3-7, 9-11,14, 15
X	EP 1 541 828 A1 (NISSAN MOTOR [JP]) 15 June 2005 (2005-06-15) paragraphs [0038], [0085] - [0087]; figures 1,7 -----	1,3,14, 15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/000219

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2003131592 A1	17-07-2003	DE 10300671 A1	21-08-2003
		JP 4022723 B2	19-12-2007
		JP 2003206723 A	25-07-2003
		US 2003131592 A1	17-07-2003
WO 2012030278 A1	08-03-2012	EP 2612003 A1	10-07-2013
		SE 1050887 A1	01-03-2012
		WO 2012030278 A1	08-03-2012
EP 2390480 A1	30-11-2011	EP 2390480 A1	30-11-2011
		JP 2011247145 A	08-12-2011
FR 2923531 A1	15-05-2009	FR 2923531 A1	15-05-2009
		WO 2009068771 A1	04-06-2009
EP 1541828 A1	15-06-2005	CN 1626779 A	15-06-2005
		DE 602004005292 T2	05-07-2007
		EP 1541828 A1	15-06-2005
		JP 4120575 B2	16-07-2008
		JP 2005171855 A	30-06-2005
		US 2005126162 A1	16-06-2005

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. F01N9/00 F01N3/023 F01N3/035
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F01N

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2003/131592 A1 (SAITO MAKOTO [JP] ET AL) 17. Juli 2003 (2003-07-17) Absätze [0021], [0034] - [0040]; Abbildungen 1-5	1-15
X	WO 2012/030278 A1 (SCANIA CV AB [SE]; KARLSSON CARL-JOHAN [SE]; TELBORN KLAS [SE]) 8. März 2012 (2012-03-08) Seiten 14,16,20; Abbildungen 2,3,4	1,3-12, 14,15
X	EP 2 390 480 A1 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 30. November 2011 (2011-11-30) Absätze [0040], [0041], [0102] - [0104], [0110]; Abbildungen 1,5,12 ----- -/-	1-7, 9-11, 13-15

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

8. April 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

17/04/2015

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Blanc, Sébastien

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	FR 2 923 531 A1 (RENAULT SAS [FR]) 15. Mai 2009 (2009-05-15) Seiten 1,4; Anspruch 1; Abbildung 2 -----	1,3-7, 9-11,14, 15
X	EP 1 541 828 A1 (NISSAN MOTOR [JP]) 15. Juni 2005 (2005-06-15) Absätze [0038], [0085] - [0087]; Abbildungen 1,7 -----	1,3,14, 15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/000219

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2003131592	A1	17-07-2003	DE	10300671	A1	21-08-2003
			JP	4022723	B2	19-12-2007
			JP	2003206723	A	25-07-2003
			US	2003131592	A1	17-07-2003

WO 2012030278	A1	08-03-2012	EP	2612003	A1	10-07-2013
			SE	1050887	A1	01-03-2012
			WO	2012030278	A1	08-03-2012

EP 2390480	A1	30-11-2011	EP	2390480	A1	30-11-2011
			JP	2011247145	A	08-12-2011

FR 2923531	A1	15-05-2009	FR	2923531	A1	15-05-2009
			WO	2009068771	A1	04-06-2009

EP 1541828	A1	15-06-2005	CN	1626779	A	15-06-2005
			DE	602004005292	T2	05-07-2007
			EP	1541828	A1	15-06-2005
			JP	4120575	B2	16-07-2008
			JP	2005171855	A	30-06-2005
			US	2005126162	A1	16-06-2005
