

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50641/2016 (51) Int. Cl.: **F01K 23/06** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 18.07.2016 **F02G 5/02** (2006.01)
(43) Veröffentlicht am: 15.11.2017 **G01M 3/00** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2016087096 A1
DE 102012221153 A1
US 2005150212 A1
DE 102009057367 A1

(71) Patentanmelder:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)
FPT INDUSTRIAL S.P.A
10156 Torino (IT)
IVECO S.P.A.
10156 Torino (IT)

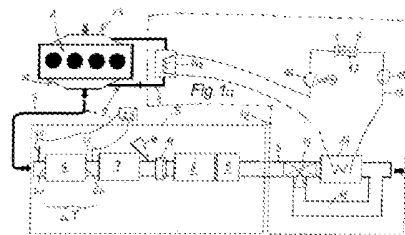
(72) Erfinder:
Glensvig Michael Dipl.Ing.
8010 Graz (AT)
Mahler Susanne Dr.
8101 Gratkorn (AT)
Thaler Markus Dipl.Ing. Dr.
8020 Graz (AT)

(74) Vertreter:
BABELUK M. DIPL. ING. MAG.
WIEN

(54) **VERFAHREN ZUR ERKENNUNG EINER UNDICHTEN STELLE IN EINEM WÄRMERÜCKGEWINNUNGSSYSTEM**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung einer undichten Stelle in einem Wärmerückgewinnungssystem (12) einer Brennkraftmaschine (1) eines Kraftfahrzeugs, wobei das Wärmerückgewinnungssystem (12) zumindest ein insbesondere brennbares Arbeitsmedium und einen Arbeitsmediumkreis (13) mit zumindest einem EGR-Verdampfer (14a), einer Pumpe (15) und zumindest einer Expansionsmaschine (16) aufweist, wobei der in einer Abgasrückföhrleitung (4) angeordnete EGR-Verdampfer (14a) vom rückgeföhrten Abgas der Brennkraftmaschine (1) durch- oder umströmt wird, und wobei in einem Abgasstrang (3) der Brennkraftmaschine (1) zumindest ein Oxidationskatalysator (6) angeordnet ist. Um auf möglichst einfache Weise Undichtheiten im EGR-Verdampfer (14a) des Wärmerückgewinnungssystems (12) frühzeitig und zuverlässig erkennen zu können, ist vorgesehen, dass zumindest ein erster Temperatursensor (30) im Abgasstrang (3) stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) und zumindest ein zweiter Abgastemperatursensor (31)

stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) angeordnet wird und mit diesen Temperatursensoren (30, 31) während des Betriebes der Brennkraftmaschine (1) die Temperaturen (T_1 , T_2) des Abgases im Abgasstrang (3) stromauf- und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) gemessen und eine Temperaturdifferenz (ΔT) des Abgases stromauf- und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) ermittelt wird, wobei bei Auftreten zumindest einer abnormal hohen Temperaturdifferenz (ΔT)- vorzugsweise nach Durchföhren einer Plausibilitätsprüfung - auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer (14a) geschlossen wird.



Z U S A M M E N F A S S U N G

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung einer undichten Stelle in einem Wärmerückgewinnungssystem (12) einer Brennkraftmaschine (1) eines Kraftfahrzeugs, wobei das Wärmerückgewinnungssystem (12) zumindest ein insbesondere brennbares Arbeitsmedium und einen Arbeitsmediumkreis (13) mit zumindest einem EGR-Verdampfer (14a), einer Pumpe (15) und zumindest einer Expansionsmaschine (16) aufweist, wobei der in einer Abgasrückföhrleitung (4) angeordnete EGR-Verdampfer (14a) vom rückgeföhrten Abgas der Brennkraftmaschine (1) durch- oder umströmt wird, und wobei in einem Abgasstrang (3) der Brennkraftmaschine (1) zumindest ein Oxidationskatalysator (6) angeordnet ist.

Um auf möglichst einfache Weise Undichtheiten im EGR-Verdampfer (14a) des Wärmerückgewinnungssystems (12) frühzeitig und zuverlässig erkennen zu können, ist vorgesehen, dass zumindest ein erster Temperatursensor (30) im Abgasstrang (3) stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) und zumindest ein zweiter Abgastemperatursensor (31) stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) angeordnet wird und mit diesen Temperatursensoren (30, 31) während des Betriebes der Brennkraftmaschine (1) die Temperaturen (T_1 , T_2) des Abgases im Abgasstrang (3) stromauf- und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) gemessen und eine Temperaturdifferenz (ΔT) des Abgases stromauf- und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) ermittelt wird, wobei bei Auftreten zumindest einer abnormal hohen Temperaturdifferenz (ΔT)- vorzugsweise nach Durchföhren einer Plausibilitätsprüfung - auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer (14a) geschlossen wird.

Fig. 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung einer undichten Stelle in einem Wärmerückgewinnungssystem einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs, wobei das Wärmerückgewinnungssystem zumindest ein insbesondere brennbares Arbeitsmedium und einen Arbeitsmediumkreis mit zumindest einem Verdampfer, einer Pumpe und zumindest einer Expansionsmaschine aufweist, wobei ein in einer Abgasrückführleitung angeordnete Verdampfer vom rückgeführten Abgas der Brennkraftmaschine durch- oder umströmt wird, und wobei in einem Abgasstrang der Brennkraftmaschine zumindest ein Oxidationskatalysator angeordnet ist.

Weiters betrifft die Erfindung eine Brennkraftmaschine, mit einem Wärmerückgewinnungssystem, welches zumindest ein insbesondere brennbares Arbeitsmedium und einen Arbeitsmediumkreis mit zumindest einem EGR-Verdampfer, einer Pumpe und zumindest einer Expansionsmaschine aufweist, wobei der EGR-Verdampfer in einer Abgasrückführleitung der Brennkraftmaschine angeordnet ist, wobei in zumindest einem Abgasstrang der Brennkraftmaschine mindestens ein Oxidationskatalysator angeordnet ist, zur Durchführung dieses Verfahrens.

Beim Betrieb eines Systems zur Wärmerückgewinnung mit einem brennbaren Arbeitsmedium in Verbindung mit einer Brennkraftmaschine und einem Verdampfer, insbesondere einem EGR-Verdampfer (EGR-Verdampfer: EGR = Exhaust Gas Recirculation) ist das Erkennen von Undichtheiten im System von hoher Priorität. Leckagen in einem Wärmerückgewinnungssystem können unter anderem zu folgenden kritischen Szenarien führen:

- Austritt des Arbeitsmediums in die Umgebung - führt zu Brandgefahr bei Verwendung eines brennbaren Arbeitsmediums wie beispielsweise Ethanol.
- Eintritt des brennbaren Arbeitsmediums in die Brennkraftmaschine – verursacht Schaden, wenn zum Beispiel das Arbeitsmedium über einen EGR-Verdampfer in den Brennraum gelangt.
- Überhitzung von Systemkomponenten durch zu geringen Füllstand des Arbeitsmediums – kann zum Beispiel zu Überhitzung des Abgasverdampfers bei zu geringem Arbeitsmedienmassenstrom führen.

Zur Feststellung einer Leckage in einem Wärmerückgewinnungssystem sind beispielsweise folgende Verfahren bekannt:

- Überwachung des Füllstandes des Arbeitsmediums im Ausgleichsbehälter mittels eines Füllstandssensors. Bei zu geringem Füllstand wird auf eine Undichtheit geschlossen.
- Dichtheitsprüfung durch unter Druck setzen des deaktivierten, kalten Systems und anschließendes Beobachten des Druckgradientens. Ein zu rascher Druckabfall deutet auf eine Undichtheit hin.
- Messen der elektrischen Leitfähigkeit der Isolierung des Wärmerückgewinnungssystems. Eine Änderung der Leitfähigkeit ist ein Anzeichen für eine Undichtheit.

Die US 6,526,358 B1 beschreibt beispielsweise ein Verfahren zur Erkennung von Lecks und Blockaden in einem Fluidkreislauf, wobei Druck, Temperatur und Durchflussrate an verschiedenen Stellen des Kreislaufs gemessen und in Beziehung gesetzt werden.

Die JP 2010-156314 A offenbart ein Wärmerückgewinnungssystem für eine Brennkraftmaschine wobei zur Leckage-Detektion O₂-Sensoren im Kühlmittelkreis des Wärmerückgewinnungssystems angeordnet sind.

Bekanntes Verfahren haben den Nachteil, dass sie entweder nur im deaktivierten Zustand des Fahrzeugs bzw. der Brennkraftmaschine durchgeführt werden können und/oder dass Einrichtungen wie zusätzliche Sensoren oder dergleichen erforderlich sind.

Aufgabe der Erfindung ist es, auf möglichst einfache Weise Undichtheiten im Verdampfer eines Wärmerückgewinnungssystems frühzeitig und zuverlässig erkennen zu können.

Erfindungsgemäß erfolgt dies dadurch, dass zumindest ein erster Temperatursensor im Abgasstrang stromabwärts des Oxidationskatalysators und zumindest ein zweiter Abgastemperatursensor stromabwärts des Oxidationskatalysators angeordnet wird und mit diesen Temperatursensoren während des Betriebes der

Brennkraftmaschine die Temperatur des Abgases im Abgasstrang stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators gemessen und eine Temperaturdifferenz des Abgases stromauf- und stromabwärts des Oxidationskatalysators ermittelt wird, wobei bei Auftreten zumindest einer abnormal hohen Temperaturdifferenz - vorzugsweise nach Durchführen einer Plausibilitätsprüfung - auf eine Undichtheit des Verdampfers geschlossen wird.

Das Verfahren kann bei Brennkraftmaschinen mit einem Wärmerückgewinnungssystem angewendet werden, bei denen zumindest ein erster Temperatursensor stromaufwärts des Oxidationskatalysators und ein zweiter Temperatursensor stromabwärts des Oxidationskatalysators angeordnet ist und mit diesen Temperatursensoren die Temperatur des Abgases im Abgasstrang der Brennkraftmaschine stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators gemessen werden kann, wobei die Temperatursensoren mit einer elektronischen Steuer- und/oder Auswerteeinheit verbunden sind.

Temperatursensoren stromauf- und stromabwärts des Oxidationskatalysators sind bei bekannten Brennkraftmaschinen standardmäßig vorgesehen. Somit kommt das erfindungsgemäße Verfahren mit serienmäßiger Kraftfahrzeugsensorik aus.

Im Oxidationskatalysator werden hauptsächlich unverbrannte Kohlenwasserstoffe (C_mH_n) und Kohlenmonoxid (CO) zu Kohlendioxid und Wasser konvertiert. Während dieses Prozesses wird Energie in der Größenordnung der unteren Heizwerte von Kohlenmonoxid und der Kohlenwasserstoffe frei. Der untere Heizwert von CO ist 10,1 MJ/kg, der untere Heizwert von C_mH_n beträgt beispielsweise 42 MJ/kg (äquivalent zu Diesel/Schmieröl). Während der Konversion der C_mH_n und des CO im Oxidationskatalysator wird die freigesetzte Energie zur Aufheizung des Oxidationskatalysators und zur Erwärmung des den Oxidationskatalysators passierenden Abgasstroms verwendet.

Die Erhöhung der Abgastemperatur während der Durchströmung des Oxidationskatalysators ist abhängig von der Konzentration der Kohlenwasserstoffe und des Kohlenmonoxids am Eingang des Oxidationskatalysators.

Die Erfindung basiert auf der Beobachtung, dass im Oxidationskatalysator nicht nur unverbrannte Kohlenwasserstoffe, welche aus dem Kraftstoff stammen, sondern auch Kohlenwasserstoffe aus dem Arbeitsmedium des

Wärmerückgewinnungssystem, beispielsweise Ethanol, konvertiert werden, was ebenfalls zu einer Temperaturerhöhung des Abgases während der Durchströmung des Oxidationskatalysators im Ausmaß des unteren Heizwertes des Arbeitsmediums führt, welcher für Ethanol beispielsweise 28,9 MJ/kg beträgt.

Somit kann auf eine Leckage des Wärmerückgewinnungssystems geschlossen werden, wenn eine abnormal hohe Temperaturdifferenz zwischen den Messwerten des ersten Temperatursensors und des zweiten Temperatursensors festgestellt wird. Unter Leckage ist eine Undichtheit zu verstehen, wobei das Arbeitsmedium unkontrolliert aus dem Verdampfer entweicht. Abnormal bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die festgestellte Temperaturdifferenz höher ist, als ein dem momentanen Betriebspunkt entsprechender Wert erlauben würde. Um dies zu verifizieren oder falsifizieren, wird vorteilhafterweise in Bezug auf die festgestellte Temperaturdifferenz eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt. Die Plausibilitätsprüfung dabei beispielsweise auf einer Überprüfung basieren, ob der erhöhte Temperaturdifferenz einer unvollkommenen Verbrennung des eingespritzten Kraftstoffes geschuldet werden kann.

Ein stationärer Betriebsmodus ist ein Betrieb der Brennkraftmaschine bei gleichbleibender Drehzahl bzw. Last. Ein instationärer Betriebsmodus ist ein Betrieb der Brennkraftmaschine bei sich verändernder Drehzahl bzw. Last. Unter normalem Motorbetrieb wird hier ein Betrieb der Brennkraftmaschine verstanden, bei dem von der Brennkraftmaschine ein positives Drehmoment zum Antrieb des Fahrzeuges zur Verfügung gestellt wird. Ein lastfreier Betriebsmodus ist ein Betrieb der Brennkraftmaschine, bei der die Brennkraftmaschine kein Drehmoment zum Antrieb des Fahrzeuges liefert.

Die Leckageprüfung kann in einem stationären Betriebsmodus, in einem instationären Betriebsmodus oder in einem lastfreien Betriebsmodus durchgeführt werden.

Zur Durchführung einer Leckageprüfung im stationären Betrieb kann für zumindest einen definierten stationären Betriebsmodus der Brennkraftmaschine ein maximaler stationärer Sollwert für die Temperaturdifferenz stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators definiert werden, die Brennkraftmaschine in diesem stationären Betriebsmodus betrieben werden und die ermittelte Temperaturdifferenz mit dem definierten stationären Sollwert des definierten

stationären Betriebsmodus verglichen werden. Dabei kann auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer geschlossen werden, wenn die ermittelte Temperaturdifferenz größer ist als der maximale stationäre Sollwert des definierten stationären Betriebsmodus.

Zur Durchführung der Leckageprüfung im instationären Betrieb ist es vorteilhaft, wenn für zumindest einen definierten instationären Betriebsmodus der Brennkraftmaschine ein maximaler instationärer Sollwert für die Temperaturdifferenz stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators definiert wird, die Brennkraftmaschine in diesem instationären Betriebsmodus betrieben wird und die ermittelte Temperaturdifferenz mit dem definierten instationären Sollwert des definierten instationären Betriebsmodus verglichen wird. Auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer wird geschlossen, wenn die ermittelte Temperaturdifferenz größer ist als der maximale instationäre Sollwert des definierten instationären Betriebsmodus.

Weiters kann eine Leckageprüfung besonders vorteilhaft während zumindest eines lastfreien Betriebsmodus der Brennkraftmaschine durchgeführt werden. Lastfreie Betriebsmodi sind dabei beispielsweise Leerlaufbetrieb, Segelbetrieb oder Schubbetrieb des Fahrzeugs bzw. der Brennkraftmaschine.

Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn für zumindest einen definierten lastfreien Betriebsmodus der Brennkraftmaschine, insbesondere während eines Leerlaufbetriebes, eines Segelbetriebes oder eines Schubbetriebes der Brennkraftmaschine, ein Mindestwert für die zeitliche Verringerung der Temperaturdifferenz stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators definiert wird, die Brennkraftmaschine in diesem lastfreien Betriebsmodus betrieben wird und ein zeitlicher Verlauf der Temperaturdifferenz stromauf- und stromabwärts des Oxidationskatalysators ermittelt und mit dem definierten Mindestwert für die zeitliche Verringerung der Temperaturdifferenz verglichen wird. Auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer wird geschlossen, wenn die Verringerung des ermittelten zeitlichen Verlaufes der Temperaturdifferenz geringer ist, als der Mindestwert für die zeitliche Verringerung der Temperaturdifferenz stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators im lastfreien Betriebsmodus.

Die Plausibilitätsprüfung kann beispielsweise im normalen Motorbetrieb und/oder im Schubbetrieb durchgeführt werden. Dabei kann im normalen Motorbetrieb der

Brennkraftmaschine a) bei Auftreten einer abnormal hohen Temperaturdifferenz eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt werden, indem die Einspritzmenge von Kraftstoff - vorzugsweise unter Verwendung eines geschlossenen Regelkreises - reduziert oder gestoppt wird, und untersucht wird, ob nach Ablauf einer definierten ersten Wartezeit eine wesentliche Verminderung der gemessenen Temperaturdifferenz eintritt, und

b) falls weiterhin ein abnormal hohe Temperaturdifferenz stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators festgestellt wird, auf eine Undichtheit am Verdampfer geschlossen wird. Alternativ oder zusätzlich kann für die Durchführung einer Plausibilitätsprüfung im Schubbetrieb der Brennkraftmaschine die Einspritzung des Kraftstoffes reduziert oder gestoppt und untersucht werden, ob nach Ablauf einer definierten zweiten Wartezeit eine wesentliche Verminderung der gemessenen Temperaturdifferenz eintritt, und - falls weiterhin eine abnormal hohe Temperaturdifferenz stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators festgestellt wird - auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer geschlossen werden.

Die erste und/oder zweite Wartezeit sollte beispielsweise zumindest 30 bis 60 Sekunden betragen, damit sich ein Reaktionsgleichgewichtszustand einstellen kann.

Eine abnormal hohe Temperaturdifferenz liegt beispielsweise dann vor, wenn die Differenz der gemessenen Temperatur stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators größer ist als $10^{\circ} \pm 20^{\circ}$.

Wenn unzweifelhaft eine Undichtheit des Verdampfers festgestellt wird, kann ein entsprechendes Warnsignal an den Fahrer ausgegeben und/oder ein entsprechender Eintrag im Fehlercode im On-Board-Diagnosesystem eingetragen werden.

Die Erfindung wird im Folgenden an Hand eines in den Figuren gezeigten nicht einschränkenden Ausführungsbeispiels näher erläutert. Darin zeigen:

Fig. 1a schematisch eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine in einer ersten Ausführungsvariante,

Fig. 1b schematisch eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine in einer zweiten Ausführungsvariante,

Fig. 2 und 3 einen zeitlichen Verlauf der Last und der ermittelten Temperaturdifferenz für ein leakagefreies Wärmerückgewinnungssystem und

Fig. 4 und 5 einen zeitlichen Verlauf der Last und der ermittelten Temperaturdifferenz für ein leakagebehaftetes Wärmerückgewinnungssystem, bei Anwendung der vorliegenden Erfindung.

Die Fig. 1 und 2 zeigen jeweils eine Brennkraftmaschine 1 mit Abgasströmungswegen 2, welche durch einen Abgasstrang 3 und eine Abgasrückföhrleitung 4 gebildet sind. Die Abgasrückföhrleitung 4 dient zur externen Abgasrückföhrung zwischen Auslasssystem 22 und Einlasssystem 23 der Brennkraftmaschine 1.

Im Abgasstrang 3 ist eine Abgasnachbehandlungseinrichtung 5 angeordnet, welches im Ausführungsbeispiel einen Diesel-Oxidationskatalysator 6, einen Diesel-Partikelfilter 7, einen SCR-Katalysator 8 und einen Sperrkatalysator 9 aufweist. Stromaufwärts des SCR-Katalysators 8 kann ein NH₃-hältiges Additiv über eine Einspritzeinrichtung 10 zugeföhrt werden. Ein Mischer 11 dient zum Mischen und Verdampfen des eingespritzten Additivs im Abgasstrom.

Zur Rückgewinnung der Abgasabwärme ist ein Wärmerückgewinnungssystem 12 mit einem geschlossenen Arbeitsmediumkreis 13 für ein Arbeitsmedium, beispielsweise Ethanol, vorgesehen, welches zumindest einen im Abgasstrang 3 angeordneten Verdampfer 14, eine Pumpe 15 und zumindest eine Expansionsmaschine 16 aufweist. Mit Bezugszeichen 17 ist ein Kondensator bezeichnet. Zur abgasseitigen Umgehung des Verdampfers 14 ist eine Umgehungsleitung 18 vorgesehen, welche stromaufwärts des Verdampfers 14 vom Abgasstrang 3 abzweigt und stromabwärts des ersten Verdampfers 14 wieder in den Abgasstrang 3 einmündet. Mit Bezugszeichen 19 ist ein beispielsweise durch eine Umschaltklappe gebildetes Steuerorgan zum Umschalten der Abgasströmung zwischen den Strömungsweg durch den Verdampfer 14 und die Umgehungsleitung 18 bezeichnet.

Weiters ist ein EGR-Verdampfer 14a (EGR=Exhaust gas recirculation) in der Abgasrückföhrleitung 4 vorgesehen, welcher stromaufwärts oder stromabwärts des

Verdampfers 14 in den Arbeitsmediumkreis 13 des Wärmerückgewinnungssystems 12 eingebunden sein kann. Bei der in Fig. 1a dargestellten ersten Ausführungsvariante ist der zweite Verdampfer 14a stromabwärts des ersten Verdampfers 14 in den Arbeitsmediumkreis 13 eingebunden. Alternativ dazu kann der zweite Verdampfer 14a aber auch in einen eine zweite Pumpe 15a, eine zweite Expansionsmaschine 16a und einen zweiten Kondensator 17a aufweisenden zweiten Arbeitsmediumkreis 13a des Wärmerückgewinnungssystems 12 angeordnet sein, wie in Fig. 1b gezeigt ist.

Stromaufwärts des Oxidationskatalysators 6 ist ein erster Temperatursensor 30 und stromabwärts des Oxidationskatalysators 6 ein zweiter Temperatursensor 31 angeordnet. Die Temperatursensoren 30, 31 stehen mit einer Steuer- und/oder Auswerteeinheit 21 in Verbindung.

Mit den ersten 30 und zweiten Temperatursensoren 31 werden die Abgastemperaturen T_{30} bzw. T_{31} stromaufwärts bzw. stromabwärts des Oxidationskatalysators im Abgasstrang 3 gemessen und eine Temperaturdifferenz ΔT am Oxidationskatalysator 6 zwischen dessen Eingang 6a und Ausgang 6b ermittelt.

Im Oxidationskatalysator 6 werden hauptsächlich unverbrannte Kohlenwasserstoffe (C_mH_n) und Kohlenmonoxid (CO) zu Kohlendioxid und Wasser konvertiert. Während dieses Prozesses wird Energie in der Größenordnung der unteren Heizwerte von Kohlenmonoxid und der Kohlenwasserstoffe frei. Der untere Heizwert von CO ist etwa 10,1 MJ/kg, der untere Heizwert von C_mH_n beträgt beispielsweise 42 MJ/kg (äquivalent zu Diesel/Schmieröl). Während der Konversion der C_mH_n und des CO im Oxidationskatalysator 6 wird die freigesetzte Energie zur Aufheizung des Oxidationskatalysators 6 und zur Erwärmung des den Oxidationskatalysators 6 passierenden Abgasstroms verwendet.

Die Erhöhung der Abgastemperatur während der Durchströmung des Oxidationskatalysators 6 ist abhängig von der Konzentration der Kohlenwasserstoffe und des Kohlenmonoxids am Eingang des Oxidationskatalysators 6.

Kommt es zu einer Leckage im Bereich des EGR-Verdampfers 14a, so schlägt sich dies also in einer erhöhten Temperaturdifferenz ΔT zwischen der Temperatur T_{31} am Ausgang 6b und der Temperatur T_{30} am Eingang 6a des Oxidationskatalysators 6.

Bei Auftreten einer abnormal hohen Temperaturdifferenz ΔT zwischen den Messwerten des zweiten Temperatursensor 31 und dem ersten Temperatursensor 30 während des normalen Motorbetriebes der Brennkraftmaschine 1 wird diese Temperaturdifferenz ΔT einer Plausibilitätsprüfung unterzogen, indem die Einspritzmenge von Kraftstoff durch die nicht weiter dargestellte Kraftstoffeinspritzeinrichtungen in die Brennkraftmaschine 1 beispielsweise unter Verwendung eines geschlossenen Regelkreises – reduziert oder gestoppt wird, und untersucht wird, ob nach Ablauf einer definierten ersten Wartezeit (zum Beispiel 30 bis 60 Sekunden) eine wesentliche Verminderung der gemessenen Temperaturdifferenz eintritt. Wenn weiterhin eine abnormal hohe Temperaturdifferenz ΔT festgestellt wird, kann auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer 14a geschlossen werden.

Alternativ oder zusätzlich kann für die Durchführung einer Plausibilitätsprüfung im Schubbetrieb der Brennkraftmaschine 1 die Einspritzung des Kraftstoffes reduziert oder gestoppt und untersucht werden, ob nach Ablauf einer definierten zweiten Wartezeit eine wesentliche Verminderung der gemessenen Temperaturdifferenz ΔT eintritt, und - falls weiterhin eine abnormal hohe Temperaturdifferenz ΔT stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators 6 festgestellt wird - auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer 14a geschlossen werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann während eines stationären Betriebsmodus, eines instationären Betriebsmodus oder eines lastfreien Betriebsmodus der Brennkraftmaschine 1 durchgeführt werden.

Zur Durchführung einer Leckageprüfung im stationären Betrieb wird für zumindest einen definierten stationären Betriebsmodus der Brennkraftmaschine 1 ein maximaler stationärer Sollwert für die Temperaturdifferenz ΔT stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators 6 definiert. Die Brennkraftmaschine 1 wird in diesem stationären Betriebsmodus betrieben und die ermittelte Temperaturdifferenz ΔT mit dem definierten stationären Sollwert des definierten stationären Betriebsmodus verglichen. Wenn die ermittelte Temperaturdifferenz ΔT größer ist als der maximale stationäre Sollwert des definierten stationären

Betriebsmodus, kann auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer 14a geschlossen werden.

Zur Durchführung der Leckageprüfung im instationären Betrieb wird für zumindest einen definierten instationären Betriebsmodus der Brennkraftmaschine 1 ein maximaler instationärer Sollwert für die Temperaturdifferenz ΔT stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators 6 definiert. Die Brennkraftmaschine 1 wird in diesem instationären Betriebsmodus betrieben und die ermittelte Temperaturdifferenz ΔT mit dem definierten instationären Sollwert des definierten instationären Betriebsmodus verglichen. Auf eine Undichtheit am Verdampfer wird geschlossen, wenn die ermittelte Temperaturdifferenz ΔT größer ist als der maximale instationäre Sollwert des definierten instationären Betriebsmodus.

Die Leckageprüfung kann auch während zumindest eines lastfreien Betriebsmodus der Brennkraftmaschine 1 - beispielsweise Leerlaufbetrieb, Segelbetrieb oder Schubbetrieb - durchgeführt werden. Dabei wird für zumindest einen definierten lastfreien Betriebsmodus der Brennkraftmaschine 1 ein Mindestwert für die zeitliche Verringerung der Temperaturdifferenz ΔT stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators 6 definiert wird. Die Brennkraftmaschine 1 wird in diesem lastfreien Betriebsmodus betrieben und ein zeitlicher Verlauf der Temperaturdifferenz ΔT stromauf- und stromabwärts des Oxidationskatalysators 6 ermittelt und mit dem definierten Mindestwert für die zeitliche Verringerung der Temperaturdifferenz ΔT verglichen wird. Wenn die Verringerung des ermittelten zeitlichen Verlaufes der Temperaturdifferenz ΔT geringer ist, als der Mindestwert für die zeitliche Verringerung der Temperaturdifferenz ΔT stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators 6 im lastfreien Betriebsmodus, kann auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer 14a geschlossen werden.

Die Fig. 2 und 3 zeigen einen zeitlichen Verlauf der Last L und der Temperaturdifferenz ΔT für ein leckagefreies Wärmerückgewinnungssystem 12 während einer Umschaltung der Brennkraftmaschine 1 auf Schubbetrieb. Üblicherweise wird während des Schubbetriebs die Einspritzung des Kraftstoffes wesentlich reduziert oder gestoppt. Deutlich ist erkennbar, dass die ermittelte Temperaturdifferenz ΔT sich drastisch vermindert – es liegt somit keine Leckage vor.

Die Fig. 4 und 5 zeigen dagegen eine Umschaltung auf Schubbetrieb, wenn eine Leckage im EGR-Verdampfer 14a vorliegt. In diesem Fall kommt es zu keiner Verminderung der Temperaturdifferenz ΔT . Im Gegenteil – auf Grund der unveränderten Leckage und des geringeren Gasdurchsatzes durch die Abgasrückföhrleitung im Schubbetrieb kann es sogar noch zu einer Steigerung der Temperaturdifferenz ΔT kommen, wie die strichlierte Linie Kurve a) zeigt. Die Linie b) zeigt den Fall, dass es zu keiner Änderung in der Temperaturdifferenz ΔT kommt. Weiters kann es vorkommen, dass die Verminderung der Temperaturdifferenz ΔT wesentlich geringer als erwartet ist, also der durch Linie d) angedeutete Mindestwert für die zeitliche Verringerung der Temperaturdifferenz ΔT nicht erreicht wird. In diesen Fällen a), b), c) kann eindeutig auf eine Leckage des EGR-Verdampfers 14a geschlossen und eine entsprechende Leckagewarnung an den Fahrer ausgegeben werden.

Der Hauptvorteil der vorliegenden Erfindung ist darin zu sehen, dass keine zusätzlichen aufwändigen Leckagedetektoren verbaut werden müssen. Im Idealfall können bereits serienmäßig im Abgasstrang 3 angeordnete erste 30 und zweite Temperatursensoren 31 verwendet werden, um zuverlässige Leckageuntersuchungen durchführen zu können.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zur Erkennung einer undichten Stelle in einem Wärmerückgewinnungssystem (12) einer Brennkraftmaschine (1) eines Kraftfahrzeugs, wobei das Wärmerückgewinnungssystem (12) zumindest ein insbesondere brennbares Arbeitsmedium und einen Arbeitsmediumkreis (13) mit zumindest einem EGR-Verdampfer (14a), einer Pumpe (15) und zumindest einer Expansionsmaschine (16) aufweist, wobei der in einer Abgasrückführleitung (4) angeordnete EGR-Verdampfer (14a) vom rückgeführten Abgas der Brennkraftmaschine (1) durch- oder umströmt wird, und wobei in einem Abgasstrang (3) der Brennkraftmaschine (1) zumindest ein Oxidationskatalysator (6) angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein erster Temperatursensor (30) im Abgasstrang (3) stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) und zumindest ein zweiter Abgastemperatursensor (31) stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) angeordnet wird und mit diesen Temperatursensoren (30, 31) während des Betriebes der Brennkraftmaschine (1) die Temperaturen (T_1 , T_2) des Abgases im Abgasstrang (3) stromauf- und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) gemessen und eine Temperaturdifferenz (ΔT) des Abgases stromauf- und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) ermittelt wird, wobei bei Auftreten zumindest einer abnormal hohen Temperaturdifferenz (ΔT)- vorzugsweise nach Durchführen einer Plausibilitätsprüfung - auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer (14a) geschlossen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für zumindest einen definierten stationären Betriebsmodus der Brennkraftmaschine (1) ein maximaler stationärer Sollwert für die Temperaturdifferenz (ΔT) stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) definiert wird, dass die Brennkraftmaschine (1) in diesem stationären Betriebsmodus betrieben wird und die ermittelte Temperaturdifferenz (ΔT) mit dem definierten stationären Sollwert des definierten stationären Betriebsmodus verglichen wird, und dass auf eine Leckage am EGR-Verdampfer (14a) geschlossen wird, wenn die ermittelte Temperaturdifferenz (ΔT) größer ist als der maximale stationäre Sollwert des definierten stationären Betriebsmodus.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass für zumindest einen definierten instationären Betriebsmodus der Brennkraftmaschine (1) ein maximaler instationärer Sollwert für die Temperaturdifferenz (ΔT) stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) definiert wird, dass die Brennkraftmaschine (1) in diesem instationären Betriebsmodus betrieben wird und die ermittelte Temperaturdifferenz (ΔT) mit dem definierten instationären Sollwert des definierten instationären Betriebsmodus verglichen wird, und dass auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer (14a) geschlossen wird, wenn die ermittelte Temperaturdifferenz (ΔT) größer ist als der maximale instationäre Sollwert des definierten instationären Betriebsmodus.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass für zumindest einen definierten lastfreien Betriebsmodus der Brennkraftmaschine (1), insbesondere während eines Leerlaufbetriebes, eines Segelbetriebes oder eines Schubbetriebes der Brennkraftmaschine (1), ein Mindestwert für die zeitliche Verringerung der Temperaturdifferenz (ΔT) stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) definiert wird, dass die Brennkraftmaschine (1) in diesem lastfreien Betriebsmodus betrieben wird und ein zeitlicher Verlauf der Temperaturdifferenz (ΔT) stromauf- und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) ermittelt und mit dem definierten Mindestwert für die zeitliche Verringerung der Temperaturdifferenz (ΔT) verglichen wird, und dass auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer (14a) geschlossen wird, wenn die Verringerung des ermittelten zeitlichen Verlaufes der Temperaturdifferenz (ΔT) geringer ist, als der Mindestwert für die zeitliche Verringerung der Temperaturdifferenz (ΔT) stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) im lastfreien Betriebsmodus.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass im normalen Motorbetrieb der Brennkraftmaschine (1)
 - a) bei Auftreten einer abnormal hohen Temperaturdifferenz (ΔT) eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt wird, indem die Einspritzmenge von Kraftstoff - vorzugsweise unter Verwendung eines geschlossenen Regelkreises - reduziert oder gestoppt wird, und untersucht wird, ob nach Ablauf einer definierten ersten Wartezeit eine wesentliche Verminderung der gemessenen Temperaturdifferenz (ΔT) eintritt, und

- b) falls weiterhin ein abnormal hohe Temperaturdifferenz (ΔT) stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) festgestellt wird, auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer (14a) geschlossen wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass im Schubbetrieb der Brennkraftmaschine (1) die Einspritzung des Kraftstoffes reduziert oder gestoppt wird, und untersucht wird, ob nach Ablauf einer definierten zweiten Wartezeit eine wesentliche Verminderung der gemessenen Temperaturdifferenz (ΔT) eintritt, und - falls weiterhin eine abnormal hohe Temperaturdifferenz (ΔT) stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) festgestellt wird - auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer (14a) geschlossen wird.
 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine abnormal hohe Temperaturdifferenz (ΔT) festgestellt wird, wenn die Differenz der gemessenen Temperatur (T_{31} , T_{30}) stromabwärts und stromaufwärts des Oxidationskatalysators (6) größer ist als $10^\circ \pm 20^\circ$.
 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und/oder zweite Wartezeit zumindest 30 bis 60 Sekunden beträgt.
 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass - wenn eine Undichtheit am EGR-Verdampfer (14a) festgestellt wird - ein entsprechendes Warnsignal ausgegeben wird.
 10. Brennkraftmaschine (1), mit einem Wärmerückgewinnungssystem (12), welches zumindest ein insbesondere brennbares Arbeitsmedium und einen Arbeitsmediumkreis (13) mit zumindest einem EGR-Verdampfer (14a), einer Pumpe (15) und zumindest einer Expansionsmaschine (16) aufweist, wobei der EGR-Verdampfer (14a) in einer Abgasrückführleitung (4) der Brennkraftmaschine (1) angeordnet ist, und wobei in zumindest einem Abgasstrang (3) der Brennkraftmaschine (1) mindestens ein Oxidationskatalysator (6) angeordnet ist, zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein erster Temperatursensor (30) stromaufwärts des Oxidationskatalysators (6) und ein zweiter Temperatursensor (31)

stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) angeordnet ist und mit diesen Temperatursensoren (30, 31) die Temperatur des Abgases im Abgasstrang (3) der Brennkraftmaschine (1) stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) messbar ist, wobei die Temperatursensoren (30, 31) mit einer elektronischen Steuer- und/oder Auswerteeinheit (21) verbunden sind.

2016 07 18
FU

Fig.2

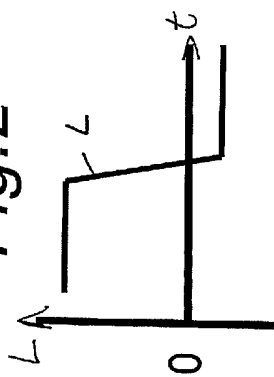


Fig.4

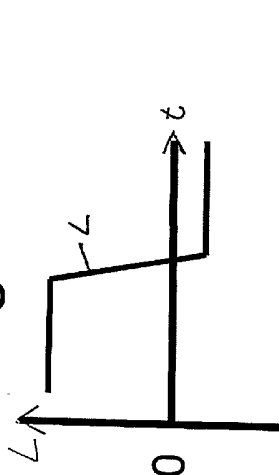


Fig.3

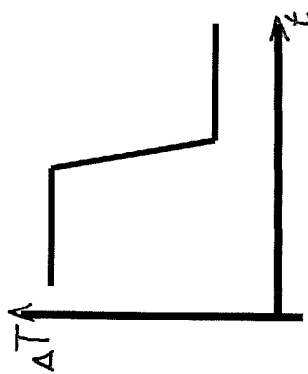
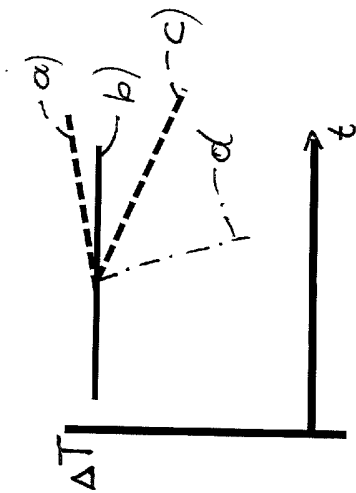


Fig.5



(neue) P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zur Erkennung einer undichten Stelle in einem Wärmerückgewinnungssystem (12) einer Brennkraftmaschine (1) eines Kraftfahrzeugs, wobei das Wärmerückgewinnungssystem (12) zumindest ein insbesondere brennbares Arbeitsmedium und einen Arbeitsmediumkreis (13) mit zumindest einem EGR-Verdampfer (14a), einer Pumpe (15) und zumindest einer Expansionsmaschine (16) aufweist, wobei der in einer Abgasrückführleitung (4) angeordnete EGR-Verdampfer (14a) vom rückgeführten Abgas der Brennkraftmaschine (1) durch- oder umströmt wird, und wobei in einem Abgasstrang (3) der Brennkraftmaschine (1) zumindest ein Oxidationskatalysator (6) angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein erster Temperatursensor (30) im Abgasstrang (3) stromaufwärts des Oxidationskatalysators (6) und zumindest ein zweiter Abgastemperatursensor (31) stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) angeordnet wird und mit diesen Temperatursensoren (30, 31) während des Betriebes der Brennkraftmaschine (1) die Temperaturen (T_1 , T_2) des Abgases im Abgasstrang (3) stromauf- und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) gemessen und eine Temperaturdifferenz (ΔT) des Abgases stromauf- und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) ermittelt wird, wobei bei Auftreten zumindest einer abnormal hohen Temperaturdifferenz (ΔT) - vorzugsweise nach Durchführen einer Plausibilitätsprüfung - auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer (14a) geschlossen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für zumindest einen definierten stationären Betriebsmodus der Brennkraftmaschine (1) ein maximaler stationärer Sollwert für die Temperaturdifferenz (ΔT) stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) definiert wird, dass die Brennkraftmaschine (1) in diesem stationären Betriebsmodus betrieben wird und die ermittelte Temperaturdifferenz (ΔT) mit dem definierten stationären Sollwert des definierten stationären Betriebsmodus verglichen wird, und dass auf eine Leckage am EGR-Verdampfer (14a) geschlossen wird, wenn die ermittelte Temperaturdifferenz (ΔT) größer ist als der maximale stationäre Sollwert des definierten stationären Betriebsmodus.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass für zumindest einen definierten instationären Betriebsmodus der Brennkraftmaschine (1) ein maximaler instationärer Sollwert für die Temperaturdifferenz (ΔT) stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) definiert wird, dass die Brennkraftmaschine (1) in diesem instationären Betriebsmodus betrieben wird und die ermittelte Temperaturdifferenz (ΔT) mit dem definierten instationären Sollwert des definierten instationären Betriebsmodus verglichen wird, und dass auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer (14a) geschlossen wird, wenn die ermittelte Temperaturdifferenz (ΔT) größer ist als der maximale instationäre Sollwert des definierten instationären Betriebsmodus.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass für zumindest einen definierten lastfreien Betriebsmodus der Brennkraftmaschine (1), insbesondere während eines Leerlaufbetriebes, eines Segelbetriebes oder eines Schubbetriebes der Brennkraftmaschine (1), ein Mindestwert für die zeitliche Verringerung der Temperaturdifferenz (ΔT) stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) definiert wird, dass die Brennkraftmaschine (1) in diesem lastfreien Betriebsmodus betrieben wird und ein zeitlicher Verlauf der Temperaturdifferenz (ΔT) stromauf- und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) ermittelt und mit dem definierten Mindestwert für die zeitliche Verringerung der Temperaturdifferenz (ΔT) verglichen wird, und dass auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer (14a) geschlossen wird, wenn die Verringerung des ermittelten zeitlichen Verlaufes der Temperaturdifferenz (ΔT) geringer ist, als der Mindestwert für die zeitliche Verringerung der Temperaturdifferenz (ΔT) stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) im lastfreien Betriebsmodus.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass im normalen Motorbetrieb der Brennkraftmaschine (1)
 - a) bei Auftreten einer abnormal hohen Temperaturdifferenz (ΔT) eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt wird, indem die Einspritzmenge von Kraftstoff - vorzugsweise unter Verwendung eines geschlossenen Regelkreises - reduziert oder gestoppt wird, und untersucht wird, ob nach Ablauf einer definierten ersten Wartezeit eine wesentliche Verminderung der gemessenen Temperaturdifferenz (ΔT) eintritt, und

- b) falls weiterhin ein abnormal hohe Temperaturdifferenz (ΔT) stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) festgestellt wird, auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer (14a) geschlossen wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass im Schubbetrieb der Brennkraftmaschine (1) die Einspritzung des Kraftstoffes reduziert oder gestoppt wird, und untersucht wird, ob nach Ablauf einer definierten zweiten Wartezeit eine wesentliche Verminderung der gemessenen Temperaturdifferenz (ΔT) eintritt, und - falls weiterhin eine abnormal hohe Temperaturdifferenz (ΔT) stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) festgestellt wird - auf eine Undichtheit am EGR-Verdampfer (14a) geschlossen wird.
 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine abnormal hohe Temperaturdifferenz (ΔT) festgestellt wird, wenn die Differenz der gemessenen Temperatur (T_{31} , T_{30}) stromabwärts und stromaufwärts des Oxidationskatalysators (6) größer ist als $10^\circ \pm 20^\circ$.
 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und/oder zweite Wartezeit zumindest 30 bis 60 Sekunden beträgt.
 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass - wenn eine Undichtheit am EGR-Verdampfer (14a) festgestellt wird - ein entsprechendes Warnsignal ausgegeben wird.
 10. Brennkraftmaschine (1), mit einem Wärmerückgewinnungssystem (12), welches zumindest ein insbesondere brennbares Arbeitsmedium und einen Arbeitsmediumkreis (13) mit zumindest einem EGR-Verdampfer (14a), einer Pumpe (15) und zumindest einer Expansionsmaschine (16) aufweist, wobei der EGR-Verdampfer (14a) in einer Abgasrückführleitung (4) der Brennkraftmaschine (1) angeordnet ist, und wobei in zumindest einem Abgasstrang (3) der Brennkraftmaschine (1) mindestens ein Oxidationskatalysator (6) angeordnet ist, zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein erster Temperatursensor (30) stromaufwärts des Oxidationskatalysators (6) und ein zweiter Temperatursensor (31)

stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) angeordnet ist und mit diesen Temperatursensoren (30, 31) die Temperatur des Abgases im Abgasstrang (3) der Brennkraftmaschine (1) stromaufwärts und stromabwärts des Oxidationskatalysators (6) messbar ist, wobei die Temperatursensoren (30, 31) mit einer elektronischen Steuer- und/oder Auswerteeinheit (21) verbunden sind.

2017 07 19
FU