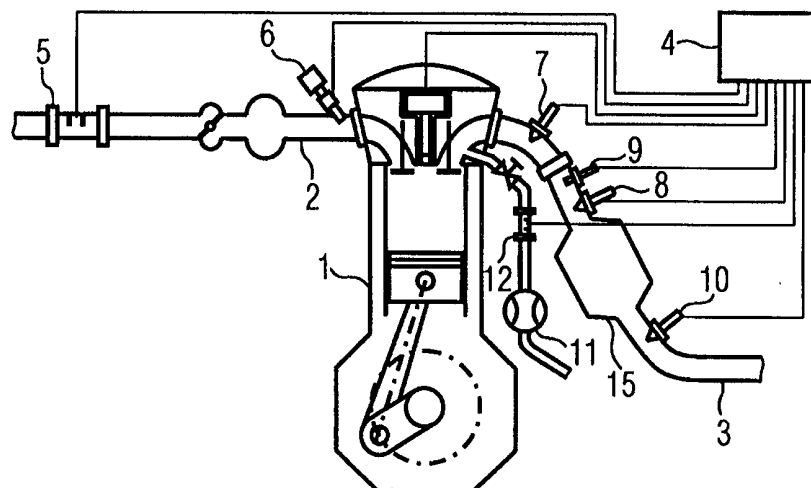




<p>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : <b>F01N</b></p>	<b>A2</b>	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 99/47795</b></p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 23. September 1999 (23.09.99)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/00692</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 12. März 1999 (12.03.99)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 198 11 574.1 17. März 1998 (17.03.98) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LEMIRE, Bertrand [FR/DE]; Am Gewerbering 29, D-84069 Schierling (DE).</p> <p>(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p><b>Veröffentlicht</b> <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i></p>	

(54) Title: METHOD AND DEVICE TO MONITOR THE FUNCTIONING OF A CATALYST IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM ÜBERWACHEN DER FUNKTIONSFÄHIGKEIT EINES KATALYSATORS EINER BRENNKRAFTMASCHINE



(57) Abstract

Method and device to monitor functioning of a catalyst (15) mounted in the exhaust gas section (3) of an internal combustion engine (1), enabling determination of the conversion rate as a function of the temperature of the catalyst (15) during heat-up operation. By evaluating the relationship between the conversion rate and the temperature, which changes with the age of the catalyst, highly precise monitoring and diagnosis of a non-functioning catalyst (15) can be made.

### (57) Zusammenfassung

Ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit eines Katalysators (15) im Abgastrakt (3) einer Brennkraftmaschine (1) bestimmt den Konvertierungsgrad als Funktion der Temperatur des Katalysators (15) im Aufheizbetrieb. Eine Auswertung des sich mit dem Alter des Katalysators ändernden Zusammenhangs zwischen Konvertierungsgrad und Temperatur erlaubt eine Überprüfung und Diagnose eines nicht funktionsfähigen Katalysators (15) mit hoher Präzision.

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshjan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zum Überwachen der Funktionsfähigkeit eines Katalysators einer Brennkraftmaschine

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Überwachen der Funktionsfähigkeit eines im Abgastrakt einer Brennkraftmaschine angeordneten Katalysators gemäß dem Oberbegriff der Patentansprüche 1 und 20.

10

Die Abgasnachbehandlung bei Brennkraftmaschinen erfolgt heutzutage üblicherweise mit einem oder mehreren Katalysatoren in der Auspuffanlage der Brennkraftmaschine. Strenge Emissionsgrenzwerte für Schadstoffemissionen von Brennkraftmaschinen, insbesondere in Fahrzeugen, machen die zuverlässige Überwachung des eingesetzten Katalysators erforderlich. Von solchen Diagnoseverfahren wird verlangt, daß sie die kontinuierliche Überprüfung des Katalysators im Betrieb ermöglichen, auch als On-Board-Diagnose bezeichnet.

20

Ein für Otto-Motoren bekanntes Verfahren zur Katalysatorüberwachung basiert auf der Auswertung des Zusammenhangs zwischen dem Sauerstoffspeichervermögen und dem Konvertierungsgrad eines Dreiwege-Katalysators. Ein solches Verfahren ist z.B. aus der DE 195 36 252 bekannt; dabei werden zwei Sauerstoff- oder Lambda-Sonden eingesetzt, eine stromauf und eine stromab des Katalysators. Dieses Verfahren kann nur dann angewendet werden, wenn die Lambda-Regelung aktiv ist und der Katalysator seine Betriebstemperatur erreicht hat. Die Auswertung der Lambdasondensignale erlaubt nur eine indirekte Katalysatorüberwachung, wobei die Korrelation zwischen Sauerstoffspeichervermögen und Konvertierungsgrad des Katalysators nicht sehr gut ist. Deshalb ist dieses Verfahren, ebenso wie das aus DE 24 44 334 bekannte auf die Diagnose relativ großer Konvertierungsgraddifferenzen begrenzt, wodurch nur eine starke Verschlechterung des Katalysators diagnostizierbar ist. Zur Diagnose einer geringen Katalysatorverschlechterung,

30  
35

wie sie strenge Emissionsgrenzwerte erforderlich machen, sind diese Verfahren nicht tauglich.

Einen anderen Weg zur Katalysatorüberprüfung beschreibt das  
5 aus DE 40 39 429 bekannte Verfahren. Es sieht stromab des Katalysators einen Kohlenmonoxid- und/oder Wasserstoffkonzentrationsaufnehmer vor. Bei Überschreitung eines vorgegebenen Grenzwertes des Kohlenmonoxid- und/oder Wasserstoffgehaltes wird ein defekter Katalysator erkannt. Die Messungen erfolgen  
10 bei definierten, stationären Betriebszuständen der Brennkraftmaschine, d.h. dann, wenn der Katalysator seinen höchsten Konvertierungsgrad aufweist.

Aus DE 195 37 778 ist ein Verfahren zur Überwachung der Funktion eines NO<sub>x</sub>-reduzierenden Katalysators einer Dieselmotorkraftmaschine bekannt, bei der als Reduktionsmittel Kraftstoff stromauf des Katalysators zudosiert wird. Dabei ist zur Überwachung des NO<sub>x</sub>-Katalysators ein Aufnehmer für die Kohlenwasserstoffkonzentration im Abgas stromab des Katalysators  
20 vorgesehen, um ein Nachlassen der katalytischen Reduktion anhand erhöhter Kohlenwasserstoffkonzentrationen im Abgas erkennen zu können.

Eine exakte Steuerung einer Brennkraftmaschine mit Katalysatoren im Abgastrakt ermöglicht im normalen Betrieb, d.h. nach Erreichen der Betriebstemperatur, sehr hohe Konvertierungsgrade, z.B. über 95%. Strenge Emissionsgrenzwerte erlauben nur geringe Abweichungen von dieser fast vollständigen Konvertierung, weshalb ein OBD-System in der Lage sein muß, bereits geringe Abweichungen festzustellen.  
30

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Überwachen der Funktionsfähigkeit eines im Abgastrakt einer Brennkraftmaschine angeordneten Katalysators anzugeben, mit denen sich bereits eine geringe, durch Alterung bedingte Verschlechterung des Konvertierungsgrades sehr präzise erfassen läßt.  
35

Das Verfahren und die Vorrichtung gemäß der Erfindung sind in den Ansprüchen 1 und 20 gekennzeichnet. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen  
5 definiert.

Erfindungsgemäß erfolgt die Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Katalysators während der Aufheizphase der Brennkraftmaschine. Da während der Aufheizphase der Brennkraftmaschine der größte emittierte Schadstoffanteil ausgestoßen  
10 wird, ist eine Funktionsüberprüfung des Katalysators in dieser Zeitspanne besonders bedeutsam. Zum anderen fällt es aufgrund der höheren Schadstoffkonzentration im Abgas hinter dem Katalysator während der Aufheizphase leichter, Änderungen in  
15 der Funktionsfähigkeit des Katalysators zu diagnostizieren.

Die Grundidee des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie der erfindungsgemäßen Vorrichtung beruht auf dem Zusammenhang zwischen dem Konvertierungsgrad bzw. dem Emissionsniveau einer  
20 Abgaskomponente hinter einem zu überwachenden Katalysator und den thermischen Eigenschaften, d.h. der Temperatur, des Katalysators. Der Konvertierungsgrad des Katalysators hängt direkt von seiner Temperatur ab. Diese Abhängigkeit ändert sich mit der Alterung des Katalysators. Der Konvertierungsgrad  
25 wird mit zunehmenden Alter des Katalysators schlechter. Diese Änderung der Abhängigkeit des Konvertierungsgrades des Katalysators von seiner Temperatur mit der Alterung bietet somit eine Möglichkeit, den Katalysator auf seine Funktionsfähigkeit hin zu überwachen.

30

Die thermische Eigenschaft des Katalysators kann durch die Festkörpertemperatur des Katalysators selbst oder aber durch die dem Katalysator zugeführte Wärme ausgedrückt werden. Letztere kann durch die Bestimmung der Abgastemperatur stromauf des Katalysators und Bestimmung des dem Katalysator zugeführten Volumenstroms sowie anschließender Berechnung der dem  
35 Katalysator zugeführten Wärme aus Abgastemperatur, Volumen-

strom und Wärmekapazität des Abgases erfolgen. Eine Energiezufuhr durch eine eventuell vorhandene Katalysatorheizung muß natürlich ebenfalls berücksichtigt werden. Vorzugsweise kann die Abgastemperatur stromauf des Katalysators mittels eines Modells aus Betriebskenngrößen der Brennkraftmaschine berechnet werden. Weiter wird die dem Katalysator zugeführte Wärme vorzugsweise nur dann bestimmt, wenn nach einem Start der Brennkraftmaschine keine latente Wärme mehr zur Verdampfung von Kondensaten im Katalysator aufgenommen wird.

10

Bei der Erfindung wird die Überwachung des Katalysators vorzugsweise anhand von Messungen einer Schadstoffkomponente, insbesondere Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoff (HC) oder Stickoxide  $\text{NO}_x$ , vorgenommen. Es können jedoch auch mehrere dieser Schadstoffkomponenten berücksichtigt werden.

15

In einer Ausführungsform der Erfindung wird stromauf sowie stromab des Katalysators die Konzentration einer Schadstoffkomponente im Abgas gemessen. Aus diesen Meßwerten wird der Konvertierungsgrad des Katalysators errechnet. In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird dann, wenn die Katalysatortemperatur bei einem gegebenen Konvertierungsgrad über einem Schwellwert liegt, eine mangelnde Katalysatorfunktion erkannt. Alternativ ist dies auch möglich, wenn bei gegebener Katalysatortemperatur ein Mindestkonvertierungsgrad nicht erreicht wird.

20

25

Wird als Maß für die Temperatur des Katalysators die dem Katalysator zugeführte Wärme verwendet, kann ein nicht funktionsfähiger Katalysator dadurch erkannt werden, daß die Energie, die notwendig ist, um den Konvertierungsgrad des Katalysator von einem Anfangswert  $\eta_i$ , z.B. 20%, auf einen Endwert  $\eta_f$ , z.B. 60% zu erhöhen, bestimmt wird. Die zum Erreichen der Konvertierungsgraderhöhung  $\eta_f - \eta_i$  notwendige Energie, die dem Katalysator in Form von Wärme zugeführt werden muß, ist bei einem gealterten, funktionsuntüchtigen Katalysator höher als bei einem neuen, funktionstüchtigen Katalysator. Der Mit-

30

35

telwert dieser Energien steigt ebenfalls mit der Alterung des Katalysators. Das Produkt aus Mittelwert der Energie und zugeführter Energie ist folglich ein Maß für das Aufwärmverhalten des Katalysators und somit für seine Funktionsfähigkeit.

5 Durch Setzen eines Schwellwertes für dieses Produkt kann auf einfache Weise die Katalysatordiagnose durchgeführt werden. Wird der Schwellwert überschritten, wird der Katalysator als nicht funktionsfähig erkannt. Um thermischen Randbedingungen des Systems Rechnung zu tragen, ist es vorzugsweise möglich,

10 die Diagnoseschwelle als Funktion von Temperaturwerten der Brennkraftmaschine, wie z.B. Kühlwassertemperatur, Ansauglufttemperatur, Außentemperatur oder Abgastemperatur beim Start der Brennkraftmaschine aus einem Kennfeld zu wählen. Ebenso kann das Fahrprofil eines Fahrzeuges, mit dem die

15 Brennkraftmaschine ausgerüstet ist, das die Aufheizung des Katalysators beeinflussen kann, durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt werden.

Bei einer Ausführungsform wird auf eine Messung der Schadstoffkonzentration stromauf des Katalysators verzichtet;

20 statt dessen wird nur die Konzentration einer der Schadstoffkomponenten hinter dem Katalysator gemessen. Zur Diagnose wird die dem Katalysator zugeführte Wärme bzw. die Änderung der Festkörpertemperatur des Katalysators bestimmt, die

25 notwendig ist, um die Konzentration der zu überwachenden Schadstoffkomponente von einem Anfangswert  $[i]_i$  auf einen Endwert  $[i]_f$  zu senken. Da die Konzentration für sich allein noch kein direktes Maß für die emittierte Schadstoffmenge ist, wird sie mit der Abgasmenge verknüpft und die Masse der

30 Schadstoffkomponente bestimmt. Je besser das Aufheizverhalten des Katalysators, umso niedriger ist die Masse, die während der Zufuhr einer gegebenen Wärme oder während einer vorgegebenen Festkörpertemperaturänderung des Katalysators emittiert wird. Bei Überschreiten eines gewissen Schwellwertes wird der

35 Katalysator als nicht funktionsfähig erkannt. Vorzugsweise wird die emittierte Masse mit der mittleren zugeführten thermischen Energie multipliziert, um den zeitlichen Verlauf der

Energiezufuhr, wie z.B. Lasteinflüsse, zu berücksichtigen. Das Produkt aus emittierter Masse und zugeführter Energie ist dann ein Maß für die Funktionsfähigkeit des Katalysators, und bei Überschreiten eines Schwellwertes wird der Katalysator  
5 als defekt erkannt. Um den thermischen Randbedingungen des Systems Rechnung zu tragen, wird vorzugsweise auch hier die Diagnoseschwelle als Funktion von Temperaturwerten der Brennkraftmaschine, wie z.B. Kühlwassertemperatur, Ansauglufttemperatur, Außentemperatur oder Abgastemperatur beim Start der  
10 Brennkraftmaschine definiert. Auch kann das Fahrprofil eines Fahrzeugs, mit dem die Brennkraftmaschine ausgestattet ist, während des Verfahrens durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt werden.

15 Es sei darauf hingewiesen, daß das erfindungsgemäße Verfahren sowie die erfindungsgemäße Vorrichtung für alle Katalysatortypen wie Reduktionskatalysatoren, Oxidationskatalysatoren, insbesondere geregelte Drei-Wege-Katalysatoren, Speicherkatalysatoren oder Adsorbern, sowie für Otto- wie Dieselmotoren  
20 kraftmaschinen anwendbar sind.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. Die Zeichnung zeigt:

25

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens,

30

Fig. 2 ein Diagramm mit dem Verlauf des Konvertierungsgrads eines Katalysators als Funktion der Katalysatortemperatur,

Fig. 3 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

35

Fig. 4 ein Diagramm mit dem Verlauf des Konvertierungsgrads eines Katalysators als Funktion der dem Katalysator zugeführten Wärme,

- Fig. 5 ein Diagramm mit Meßergebnissen, das die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens für einen Drei-Wege-Katalysator veranschaulicht,
- Fig. 6 ein Diagramm mit der von einer Brennkraftmaschine emittierten Masse als Funktion der dem Katalysator zugeführten Wärme und
- Fig. 7 ein Diagramm mit Meßergebnissen, das die Anwendung einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens bei einem Drei-Wege-Katalysator veranschaulicht.

Anhand der Fig. 1 und 2 wird ein erstes Ausführungsbeispiel eines Verfahrens und einer Vorrichtung zum Überwachen der Funktionsfähigkeit eines Katalysators beschrieben.

Wie Fig. 1 zeigt, hat eine Brennkraftmaschine 1 einen Ansaugtrakt 2 sowie einen Abgastrakt 3. Ihr Betrieb wird von einem Steuergerät 4 gesteuert beziehungsweise geregelt. Dem Steuergerät 4 wird der Meßwert eines Ansaugluftmassenaufnehmers 5 zugeführt, der im Ansaugtrakt 2 der Brennkraftmaschine 1 angeordnet ist und den Ansaugluftmassenstrom erfaßt. Das Steuergerät 4 steuert weiter die Einspritzung des Kraftstoffes über Einspritzventile 6 in den Ansaugtrakt 3 und erfaßt mittels einer Lambda-Sonde 7 den Sauerstoffgehalt des Abgases, um den Betrieb der Brennkraftmaschine zu regeln. Im Abgastrakt 3 ist ein Katalysator 15 angeordnet, dessen Funktionsfähigkeit, d.h. Konvertierungsgrad überwacht werden soll.

Der Konvertierungsgrad  $\eta$  eines Katalysators hängt direkt von der Temperatur des Katalysators  $T_{\text{cat}}$  ab. Dieser Zusammenhang ist in Fig. 2 dargestellt. Die Kurve 13 zeigt die Temperaturabhängigkeit des Konvertierungsgrades  $\eta$  eines neuen Katalysators. Kurve 14 beschreibt einen alten funktionsuntüchtigen Katalysator. Mit steigender Katalysatortemperatur  $T_{\text{cat}}$  nimmt  $\eta$  bis zu einem maximalen Wert zu. Der Verlauf oberhalb der Temperatur, bei der der maximale Wert erreicht wird, hängt vom verwendeten Katalysator ab. Er ist annähernd konstant bei ei-

nem Drei-Wege-Katalysator, nimmt z.B. bei einem Entstickungskatalysator dagegen ab.

Der Konvertierungsgrad für eine Komponente ergibt sich aus  
5 folgender Gleichung:

$$\eta_i = ([i]_{\text{vor Kat.}} - [i]_{\text{nach Kat.}}) / [i]_{\text{vor Kat.}} \quad (1),$$

wobei  $[i]$  die Volumenkonzentration der Schadstoffkomponente  $i$   
10 darstellt. Mit der Alterung des Katalysators nimmt seine Aktivierungsenergie ab und der Kurvenverlauf ändert sich. Die für einen bestimmten Konvertierungsgrad  $\eta_i$  notwendige Katalysatortemperatur  $T_{\text{cat}}$  erhöht sich, und der maximale Konvertierungsgrad  $\eta_{i,\text{max}}$  nimmt ab; die Kurve verbreitert sich, wie  
15 in Fig. 2 zu sehen ist. Die Änderung des Konvertierungsgrads als Funktion der Temperatur bei der Alterung bietet somit eine Möglichkeit, den Katalysator auf seine Funktionsfähigkeit hin zu überwachen.

20 Um die Temperatur des Katalysators zu bestimmen, wird dessen Festkörpertemperatur mittels eines Temperaturlaufnehmers 9 gemessen, wobei der Meßwert dem Steuergerät 4 zugeführt wird. Um die Konzentration einer Schadstoffkomponente im Abgas und hieraus den Konvertierungsgrad des Katalysators zu bestimmen,  
25 sind stromauf des Katalysators 15 ein Schadstoffkonzentrationsaufnehmer 8 und stromab des Katalysators ein Schadstoffkonzentrationsaufnehmer 10 angeordnet, die abhängig von der Konzentration der Schadstoffkomponente, z.B. der Kohlenwasserstoffe (HC), Meßwerte an das Steuergerät 4 liefern.  
30 Dort werden diese mittels einer mathematischen Funktion oder eines Kennfeldes in die Schadstoffvolumenkonzentration umgerechnet. Als Schadstoffkonzentrationsaufnehmer, die die Volumenkonzentration einer zu überwachenden Schadstoffkomponente im Abgas erfassen, sind planare Abgassensoren möglich, die  
35 eine Änderung der elektrischen Leitfähigkeit eines Metalloxids (z.B. dotiertes  $\text{SrTiO}_3$ ) als Meßsignal zeigen. Es sind aber auch Abgassensoren denkbar, die einen Festkörperelektro-

lyten (z.B. stabilisiertes  $ZrO_2$  oder  $CeO_2$ ) als Meßelement verwenden. Im beschriebenen Ausführungsbeispiel handelt es sich um zwei planare Kohlenwasserstoffsensoren für eine geforderte OBD-Überwachungsfunktion.

5

Die direkte Auswertung des Zusammenhangs  $\eta_i$  ( $T_{cat}$ ) erfolgt, indem während des Warmlaufs des Motors in der Aufheizphase die Festkörpertemperatur des Katalysators 15 mit dem Temperaturlaufnehmer 9 gemessen wird und dazu aus den Signalen der Schadstoffkonzentrationsaufnehmer 8, 9 der Konvertierungsgrad  $\eta$  ermittelt wird. Bei gegebenem Konvertierungsgrad  $\eta_{diag}$  hat ein neuer Katalysator eine sehr viel niedrigere Temperatur  $T_{neu}$  als ein älterer Katalysator. Liegt, wie in Fig. 2 zu sehen, die Temperatur  $T_{alt}$  zum gegebenen Konvertierungsgrad  $\eta_{diag}$  über einer Temperaturschwelle  $T_{diag}$ , wird der Katalysator als defekt erkannt. Alternativ kann auch der Konvertierungsgrad  $\eta$  zu einer gegebenen Temperatur  $T_{diag}$  bestimmt werden und bei Unterschreiten eines vorgegebenen Schwellwertes  $\eta_{diag}$  der Katalysator als defekt erkannt werden.

20

Anhand der Fig. 3 und 4 wird eine weitere Ausführungsform der Erfindung beschrieben. Elemente, die denen der Fig. 1 entsprechen, sind mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet, es sei hier auf die Beschreibung der Fig. 1 verwiesen. Im Unterschied zur Vorrichtung der Fig. 1 ist kein Temperaturlaufnehmer 9 am Katalysator 15 vorgesehen. Stattdessen wird die Temperatur des Abgases stromauf des Katalysators mit einem Temperaturlaufnehmer 9 vom Steuergerät 4 erfaßt. Über eine Sekundärluftpumpe 11 wird dem Abgas stromauf des Katalysators 15 ein Sekundärluftmassenstrom zugeführt, der von einem Sekundärluftmassenaufnehmer 12 gemessen wird, wobei der Meßwert dem Steuergerät 4 zugeführt wird.

30

Alternativ zur Abhängigkeit des Konvertierungsgrads des Katalysators von seiner Festkörpertemperatur wird in diesem Fall die Abhängigkeit des Konvertierungsgrades von der dem Katalysator zugeführten Energie für die Diagnose verwendet. Die

35

Energie zur Aufheizung des Katalysators wird diesem vom Abgas in Form von Wärme zugeführt. Diese Wärme kann aus der Abgastemperatur vor dem Katalysator und dem dem Katalysator zugeführten Abgasmassenstrom nach folgender Gleichung bestimmt

5 werden:

$$E = \int_{t_i}^{t_f} T_{abgas} \cdot \left( \dot{M}_{ansaug} \cdot \left( 1 + \frac{1}{L_0 \cdot \lambda} \right) + \dot{M}_{sekundär} \right) \cdot C_p dt \quad (2)$$

wobei  $T_{Abgas}$  die Abgastemperatur stromauf des Katalysators,  
 10  $\dot{M}_{ansaug}$  der Ansaugluftmassenstrom,  $\dot{M}_{sekundär}$  der Sekundärluft-  
 massenstrom,  $C_p$  die Wärmekapazität des Abgases bei konstantem  
 Druck,  $\lambda$  die Luftzahl und  $L_0$  die Luftmasse pro Kraftstoff-  
 masseneinheit bei stöchiometrischer Verbrennung darstellt. Die  
 Wärme  $\Delta Q = E_{\eta_f} - E_{\eta_i}$ , die notwendig ist, um den Konvertie-  
 15 rungsgrad des Katalysators von einem Anfangswert  $\eta_i$  (Wärme  
 $E_{\eta_i}$ ) auf einen Endwert  $\eta_f$  (Wärme  $E_{\eta_f}$ ) zu erhöhen, ist bei ei-  
 nem gealterten Katalysator höher als bei einem neuen Kataly-  
 sator, wie in Fig. 4 zu sehen ist. Die in Fig. 4 gezeigten  
 Kurven entsprechen denen der Fig. 2, mit dem Unterschied, daß  
 20 sie über der dem Katalysator 15 zugeführten Wärme anstatt  
 über der Festkörpertemperatur aufgetragen sind. Die zum Er-  
 reichen von  $\eta_i$  und  $\eta_f$  notwendigen Energien  $E_{\eta_i}$  und  $E_{\eta_f}$  sind  
 ebenfalls bei einem gealterten Katalysator höher als bei ei-  
 nem neuen Katalysator. Ihr Mittelwert  $\eta_{th} = \frac{E_{\eta_i} + E_{\eta_f}}{2}$   
 25 steigt ebenso mit der Alterung des Katalysators an. Das Pro-  
 dukt aus Mittelwert und zugeführter Wärme  $\Delta Q$  ist folglich ein  
 brauchbares Maß für das Aufwärmverhalten des Katalysators und  
 somit für seine Funktionsfähigkeit. Durch Setzen eines  
 Schwellwertes für das Produkt kann auf einfache Weise die Ka-  
 30 taly sator diagnose durchgeführt werden. Bei Schwellwertüber-  
 schreitung wird der Katalysator als defekt erkannt.

Da letztendlich jedoch die Aufheizung des Katalysators für  
 seinen Konvertierungsgrad entscheidend ist, sind die thermi-  
 35 schen Randbedingungen des Systems von Bedeutung, wenn man die

dem Katalysator zugeführte Wärme als Maß für seine Aufheizung verwendet. Um diesen thermischen Randbedingungen Rechnung zu tragen, kann die Diagnoseschwelle vorzugsweise als Funktion von Temperaturwerten der Brennkraftmaschine wie z.B. Kühlwassertemperatur, Ansaugtemperatur, Außentemperatur oder Abgas-  
5     stemperatur beim Inbetriebsetzen der Brennkraftmaschine gewählt werden. Das Steuergerät 4 enthält dazu ein geeignetes Kennfeld. Weiter kann das Fahrprofil der Fahrzeuggeschwindigkeit eines Fahrzeuges, in dem die Brennkraftmaschine eingebaut ist, durch einen Korrekturfaktor, der im Steuergerät 4  
10     abgelegt sein kann, berücksichtigt werden.

In Fig. 5 sind Meßergebnisse dargestellt, die das erfindungsgemäße Verfahren am Beispiel der Oxidation von Kohlenwasserstoffen mit einem Drei-Wege-Katalysator demonstrieren. Die  
15     Messungen erfolgten an einem Motorprüfstand, der Aufbau entspricht dem der Fig. 3. Die Brennkraftmaschine wurde aus kaltem Zustand ( $300^{\circ}$  K) auf unterschiedliche konstante Drehzahlen gestartet, um so unterschiedliche Aufheizprofile des Katalysators zu erzeugen. Die Diagnose wurde mit  $\eta_i = 20\%$  und  
20      $\eta_f = 60\%$  für die Konzentration von Kohlenwasserstoff (HC) durchgeführt. Die Bestimmung der Kohlenwasserstoffkonzentration stromauf und stromab des Katalysators erfolgte mit einem  
25     Flammen-Ionisationsdetektor (FID). Es wurden zwei Katalysatoren untersucht. Der neue Katalysator, Meßkurve 13, weist nach Fahrzyklus FTP 75 eine Emission von 50 mgHC pro Meile auf. Der gealterte Katalysator der Meßkurve 14 erreicht 100 mgHC pro Meile. Die beiden Katalysatoren können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren gut unterschieden werden, wie Fig. 5  
30     zeigt.

In den bisher vorgestellten Ausführungsbeispielen sind zwei Schadstoffkonzentrationsaufnehmer im Abgas erforderlich. Eine kostengünstigere und deshalb bevorzugte Möglichkeit bietet  
35     eine weitere Ausführungsform der Erfindung, bei der die Messung der Volumenkonzentration der Schadstoffkomponente nur stromab dem Katalysator erfolgt. Ansonsten entspricht die

Vorrichtung dieses Ausführungsbeispiels der Vorrichtung der Fig. 3. Zur Diagnose wird vorzugsweise die Wärme bestimmt, die dem Katalysator zugeführt werden muß, um die Konzentration  $[i]_{\text{nach Kat.}}$  der zu überwachenden Schadstoffkomponente  $i$  von einem Anfangswert  $[i]_i$  auf einen Endwert  $[i]_f$  zu senken. Da die Konzentration, insbesondere die Volumenkonzentration, kein Maß für die emittierte Schadstoffmenge ist, wird mit folgender Gleichung aus der Konzentration die Masse der Komponente  $i$  bestimmt:

10

$$mass = \int_{[i]_i}^{[i]_f} [i] \cdot \left( \dot{M}_{\text{ansaug}} \cdot \left( 1 + \frac{1}{L_0 \cdot \lambda} \right) + \dot{M}_{\text{sekundär}} \right) \cdot \frac{M_i}{M_{\text{abgas}}} dt \quad (3),$$

wobei  $M_i$  die Molmasse der Komponente  $i$ ,  $M_{\text{abgas}}$  die Molmasse des Abgases und alle anderen Bezeichnungen der der Gleichung (2) entsprechen. Um den zeitlichen Verlauf der Energiezufuhr, insbesondere Lasteinflüsse, zu berücksichtigen, wird  $mass_i$  wie beim vorherigen Ausführungsbeispiel mit der mittleren thermischen Energie  $E_{\text{th}}$  multipliziert. Das Produkt aus  $mass_i \cdot E_{\text{th}}$  ist wieder ein Maß für die Funktionsfähigkeit des Katalysators. Beim Überschreiten eines Schwellwertes wird der Katalysator als defekt erkannt. Um wiederum den thermischen Randbedingungen des Systems Rechnung zu tragen, wird die Diagnoseschwelle als Funktion von Temperaturwerten der Brennkraftmaschine, wie z.B. Kühlwassertemperatur, Ansauglufttemperatur, Außentemperatur oder Abgastemperatur der Brennkraftmaschine vor Inbetriebsetzung definiert und in einem Kennfeld im Steuergerät 4 abgelegt. Das Fahrprofil eines mit der Brennkraftmaschine ausgerüsteten Fahrzeuges kann während der Diagnose wiederum durch einen geschwindigkeitsabhängigen Korrekturfaktor berücksichtigt werden.

In Fig. 7 sind Meßergebnisse dargestellt, die die Anwendung des Verfahrens am Beispiel der Oxidation von Kohlenwasserstoffen in einem Drei-Wege-Katalysator demonstrieren. Die Messungen erfolgten auf einem Rollenprüfstand, der Aufbau entspricht dem der Fig. 3 ohne den Schadstoffkonzentrations-

aufnehmer 8 stromauf des Katalysators. Der Schadstoffkonzentrationsaufnehmer 10 stromab des Katalysators 15 ist in diesem Ausführungsbeispiel ein resistiver planarer Sensor. In Test Nr. 1, 2 und 5 wurde ein neuer Katalysator, in den Tests 3, 4 und 6 der Fig. 7 wurde ein alter Katalysator untersucht. In den Tests 1 und 2 bzw. 3 und 4 wurden aufeinanderfolgende Fahrzyklen FTP 75 durchlaufen, anschließend an diese Tests wurde im Test 5 bzw. 6 die Brennkraftmaschine 60 s im Leerlauf gehalten. Wie zu sehen ist, überschreiten die Tests mit dem gealterten Katalysator deutlich den Schwellwert von 110 g kJ, während die Tests mit dem neuen Katalysator deutlich darunterliegende Werte zeigen. Dadurch ist es möglich, einen alten, nicht mehr funktionstüchtigen Katalysator von einem neuen zu unterscheiden.

15

Das Ergebnis der Funktionsüberprüfung kann dem Führer der Brennkraftmaschine 1 bzw. eines damit ausgerüsteten Fahrzeuges über eine Warnvorrichtung (nicht dargestellt) signalisiert werden. Alternativ kann das Steuergerät 4 einen Speicher (nicht gezeigt) aufweisen, in dem eine Aussage über die Funktionfähigkeit der Brennkraftmaschine 1 abgelegt wird, die z.B. bei einer Wartung ausgelesen werden kann.

Es sei darauf hingewiesen, daß die Messung der Abgastemperatur im vorstehend geschilderten Verfahren durch eine modellbasierte Berechnung der Abgastemperatur aus Betriebskenngrößen der Brennkraftmaschine ersetzt werden kann. Weiter sei darauf hingewiesen, daß das Steuergerät 4 in das Betriebssteuergerät der Brennkraftmaschine integriert oder ein eigenständiges Gerät sein kann.

30

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen der Funktionsfähigkeit eines im Abgasttrakt einer Brennkraftmaschine angeordneten Katalysators, bei dem durch laufende Messungen während einer Aufheizphase des Katalysators eine für die Temperatur des Katalysators charakteristische erste Größe sowie eine für den Konvertierungsgrad des Katalysators charakteristische zweite Größe, die von der ersten Größe abhängig ist, bestimmt werden und eine von der Alterung des Katalysators verursachte Änderung der Abhängigkeit der zweiten Größe von der ersten Größe zum Überwachen der Funktionsfähigkeit des Katalysators benutzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als erste Größe die Festkörpertemperatur des Katalysators verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als erste Größe die dem Katalysator zugeführte Wärme verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Katalysator zugeführte Wärme durch folgende Schritte bestimmt wird:
- Bestimmen der Abgastemperatur stromauf des Katalysators,
  - Bestimmen des dem Katalysator zugeführten Volumenstroms des Abgases und
  - Berechnung der dem Katalysator zugeführten Wärme aus Abgastemperatur, Volumenstrom und Wärmekapazität des Abgases.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Katalysator zugeführte Wärme nur dann bestimmt wird, wenn nach einem Kaltstart der Brennkraftmaschine keine latente Wärme mehr zur Verdampfung von Kondensaten im Katalysator aufgenommen wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Abgastemperatur stromauf des Katalysators mittels eines Modells aus Betriebskenngrößen der Brennkraftmaschine berechnet wird.

5

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß als erste Größe ein Wert für die dem Katalysator zugeführte Wärme verwendet wird, der mit einem Korrekturfaktor hinsichtlich äußerer Einflüsse korrigiert wurde.

10

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als zweite Größe der Konvertierungsgrad des Katalysators verwendet wird.

15

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zum Bestimmen der zweiten Größe die Konzentration mindestens einer Schadstoffkomponente im Abgas stromab des Katalysators erfaßt wird.

20

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Konzentration der Schadstoffkomponente im Abgas auch stromauf des Katalysators erfaßt und aus dem Konzentrationsunterschied der Konvertierungsgrad des Katalysators bestimmt wird.

25

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als zweite Größe die Masse mindestens einer Schadstoffkomponente im Abgas stromab des Katalysators verwendet wird.

30

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der Masse folgende Schritte durchgeführt werden:

- Bestimmen des dem Katalysator zugeführten Abgasvolumenstroms,

35

- Umrechnung des Volumenstroms in einen Massenstrom und Berechnung des Produktes aus Massenstrom und Konzentration der Schadstoffkomponente im Abgas stromab des Katalysators und
- Integration dieses Produktes.

5

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Masse der Schadstoffkomponente im Abgas hinter dem Katalysator mit der ersten Größe multipliziert wird und das hierdurch gebildete Produkt zur Überwachung der Funktionsfähigkeit des Katalysators benutzt wird.

10

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Abhängigkeit der zweiten Größe von der ersten Größe an einem vorgegebenen Punkt bestimmt wird.

15

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem vorgegebenen Wert der ersten Größe ein Schwellwert der zweiten Größe gesetzt wird, bei dessen Unterschreitung eine unzureichende Funktionsfähigkeit des Katalysators diagnostiziert wird, wobei der vorgegebene Wert der ersten Größe in einem Bereich liegt, in dem eine Alterung des Katalysators eine starke Änderung der zweiten Größe verursacht.

20

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem vorgegebenen Wert der zweiten Größe ein Schwellwert der ersten Größe gesetzt wird, bei dessen Überschreitung eine unzureichende Funktionsfähigkeit des Katalysators diagnostiziert wird, wobei der vorgegebene Wert der zweiten Größe in einem Bereich liegt, in dem eine Alterung des Katalysators eine starke Änderung der ersten Größe verursacht.

25

30

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Änderung der zweiten Größe in einem Intervall der ersten Größe bestimmt wird und bei Unterschreiten eines vorgegebenen Schwellwertes der zweiten Größe eine unzu-

35

reichende Funktionsfähigkeit des Katalysators diagnostiziert wird.

5 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Änderung der ersten Größe in einem Intervall der zweiten Größe bestimmt wird und bei Überschreiten eines vorgegebenen Schwellwertes der Änderung der ersten Größe eine unzureichende Funktionsfähigkeit des Katalysators diagnostiziert wird.

10

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Änderung der ersten Größe vor Vergleich mit dem Schwellwert noch mit dem Mittelwert der ersten Größe multipliziert wird.

15

20. Vorrichtung zum Überwachen der Funktionsfähigkeit eines im Abgastrakt (3) einer Brennkraftmaschine (1) angeordneten Katalysators (15), mit

- einer ersten Meßeinrichtung (5, 9, 12) zum Erfassen einer für die Temperatur des Katalysators charakteristischen ersten Größe während einer Aufheizphase,
- einer zweiten Meßeinrichtung (8, 10) zum Erfassen einer für den Konvertierungsgrad des Katalysators charakteristischen zweiten Größe, die von der ersten Größe abhängig ist, während

25 der Aufheizphase und

- einem Steuergerät (4), das eine von der Alterung des Katalysators verursachte Änderung der Abhängigkeit der zweiten Größe von der ersten Größe zum Überwachen der Funktionsfähigkeit des Katalysators benutzt.

30

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Meßeinrichtung einen Temperaturlaufnehmer (9) aufweist, der die Festkörpertemperatur des Katalysators (15) mißt.

35

22. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Meßeinrichtung (5, 9, 12) die Abgastemperatur mißt

sowie Meßwerte liefert, aus denen der Abgasvolumenstrom bestimmt werden kann.

23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß  
5 die erste Meßeinrichtung (5, 9, 12) den Massenstrom der Ansaugluft der Brennkraftmaschine (1), einen eventuell vorhandenen Sekundärluftmassenstrom, der dem Abgasstrom stromauf des Katalysators (15) zugemischt wird, und die Lambdazahl mißt.

10

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß dem Steuergerät (4) zur Überwachung des Katalysators (15) benötigte Betriebskenngrößen der Brennkraftmaschine (1) zugeführt werden.

15

25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuergerät (4) aus Betriebskenngrößen mittels eines Modells die Abgastemperatur stromauf des Katalysators (15) berechnet.

20

26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Meßeinrichtung (8, 10) einen Meßaufnehmer (10) umfaßt, der die Konzentration mindestens einer Schadstoffkomponente stromab des Katalysators (15)

25

mißt.

27. Vorrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Meßeinrichtung (8, 10) einen Meßaufnehmer (8) aufweist, der die Konzentration mindestens einer Schadstoffkomponente stromauf des Katalysators (15) mißt.

30

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuergerät (4) in ein Betriebssteuergerät der Brennkraftmaschine (1) integriert ist.

35

29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß der Katalysator (15) ein Oxidationskatalysator ist.

5 30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß der Katalysator (15) ein Reduktionskatalysator ist.

10 31. Vorrichtung nach Anspruch 20 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuergerät (4) mit einer Warneinrichtung verbunden ist, mittels der eine unzureichende Funktionsfähigkeit des Katalysators (15) angezeigt wird.

15 32. Vorrichtung nach Anspruch 20 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuergerät (4) einen Speicher aufweist, der bei der Wartung der Brennkraftmaschine (1) auslesbar ist und in dem das Auftreten einer ungenügenden Funktion des Katalysators (15) abspeicherbar ist.

FIG 1

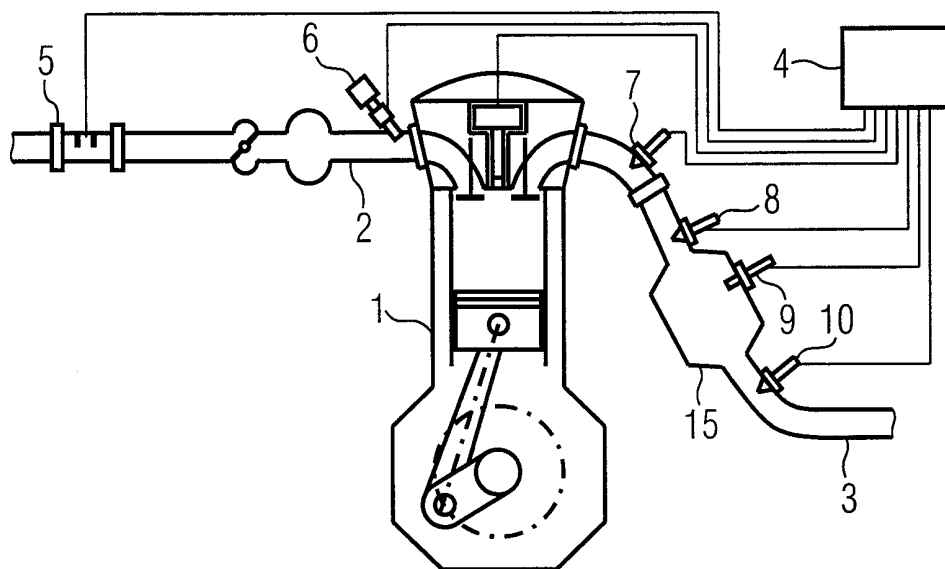


FIG 2

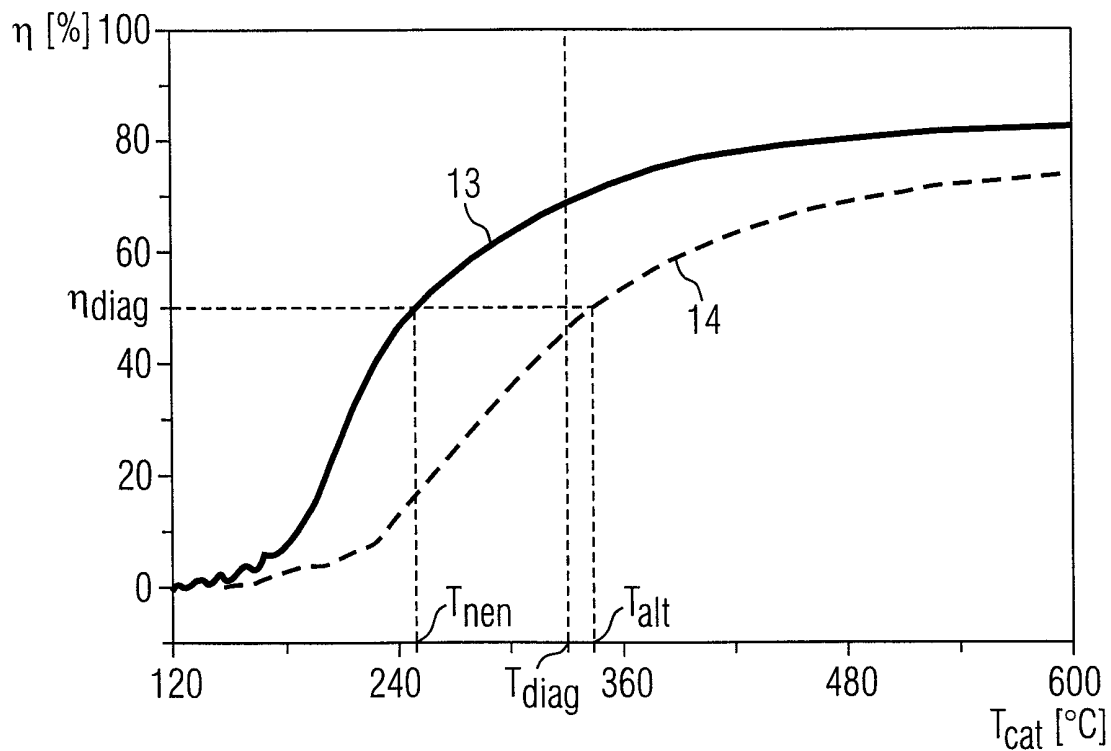


FIG 3

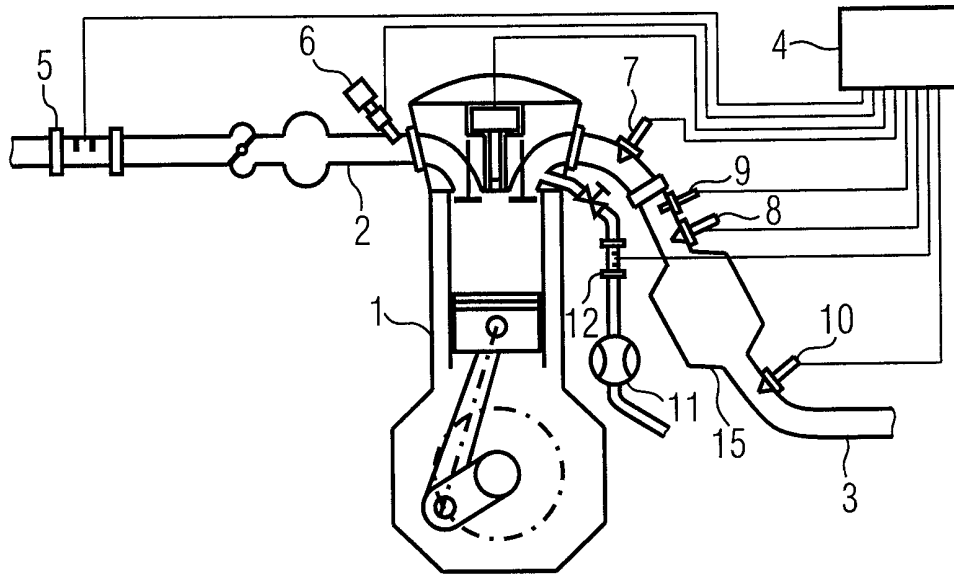
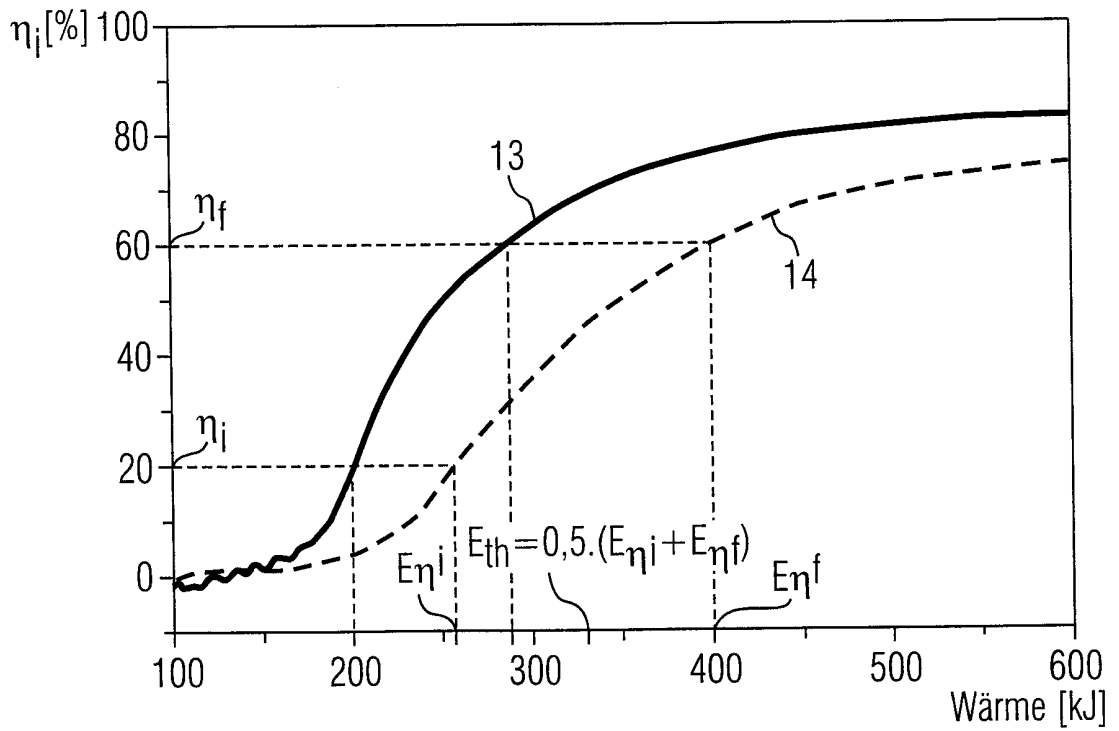


FIG 4



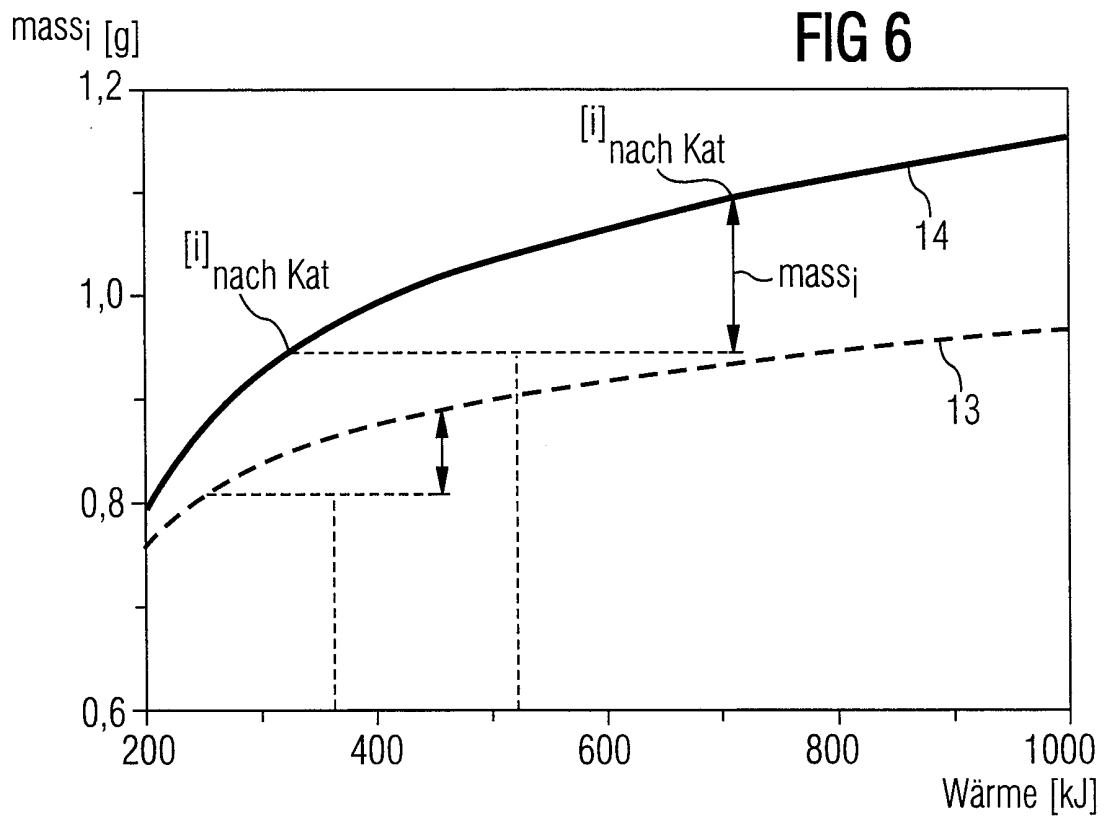
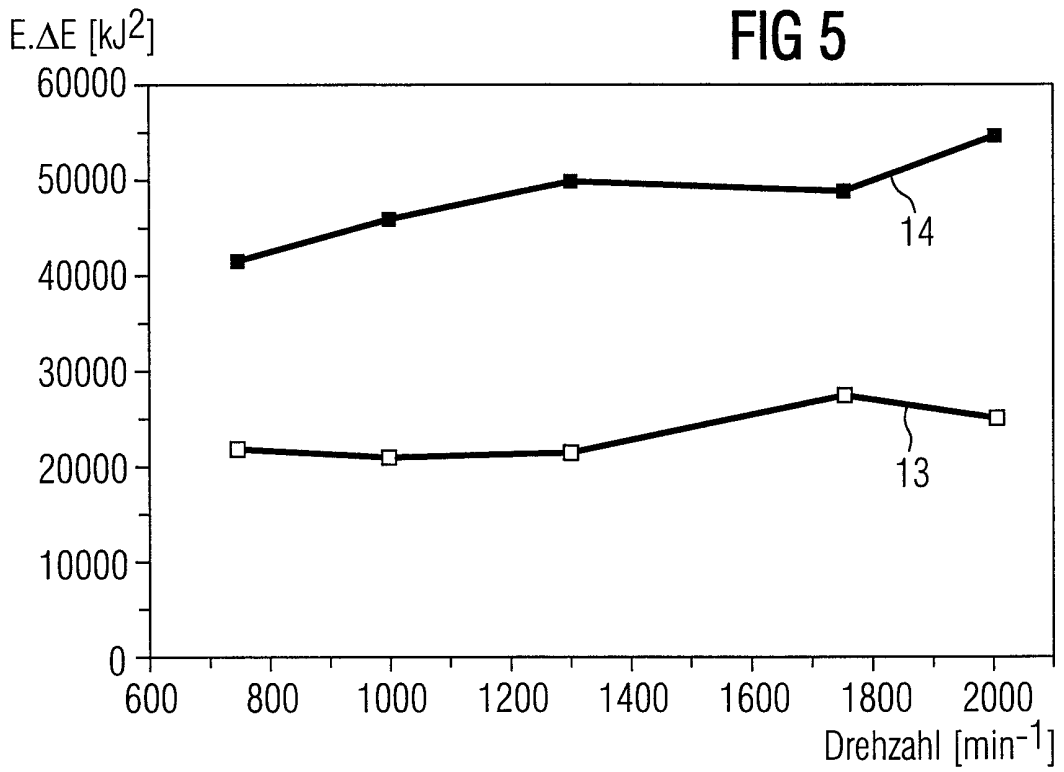


FIG 7

