



(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
29.05.2002 Patentblatt 2002/22

(51) Int Cl.7: F01N 3/20, F02D 41/14

(21) Anmeldenummer: 01250407.2

(22) Anmeldetag: 21.11.2001

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 22.11.2000 DE 10057936
22.11.2000 DE 10057938

(71) Anmelder: Volkswagen Aktiengesellschaft
38436 Wolfsburg (DE)

(72) Erfinder:
• Hahn, Hermann
30175 Hannover (DE)
• Pott, Ekkehard
38518 Gifhorn (DE)
• Hinze, Sören
D-38102 Braunschweig (DE)

(74) Vertreter: Schneider, Henry, Dipl.-Ing.
Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider
Schützenstrasse 15-17
10117 Berlin (DE)

(54) Verfahren und Vorrichtungen zur Regeneration eines NO_x-Speicherkatalysators

(57) Die Erfindung betrifft Verfahren zur NO_x-Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerlauflfähigen Verbrennungskraftmaschine angeordneten NO_x-Speicherkatalysators, wobei der NO_x-Speicherkatalysator bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer Abgasatmosphäre mit $\lambda \leq 1$ beaufschlagt wird und ein Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des NO_x-Speicherkatalysators angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, sowie Vorrichtungen zur Regeneration eines NO_x-Speicherkatalysators.

Es ist vorgesehen, dass während der NO_x-Regeneration das sauerstoffabhängige Signal (U_λ) der Messeinrichtung (20) hochgerechnet wird und auf Basis des

hochgerechneten Signals ein theoretischer Zeitpunkt (t_s) bestimmt wird, an dem ein vorgegebener Signalschwellenwert (U_{SE}) überschritten wird, und das Regenerationsende (t_E) bestimmt wird, indem eine im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und NO_x-Speicherkatalysator (18) entsprechende Zeitspanne (Δt) von dem theoretischen Zeitpunkt (t_s) subtrahiert wird. Weiterhin ist vorgesehen, ein Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal (U_λ) unter Berücksichtigung der Abgaslaufzeit (Δt) zu variieren.

Die erfindungsgemäßen Maßnahmen gewährleisten eine weitgehende Unterdrückung von Schadstoffemissionen am Ende einer Regeneration. Zudem kann eine Gesamtdauer der Regeneration verkürzt werden.

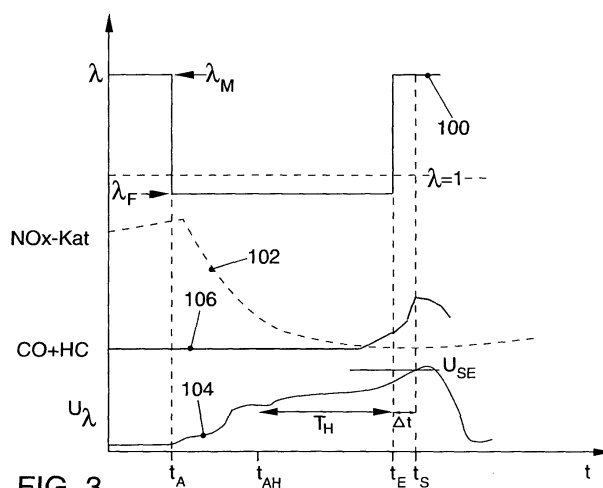


FIG. 3

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Verfahren zur Durchführung einer Regeneration eines NO_x -Speicherkatalysators in einem Abgasstrang einer Verbrennungskraftmaschine sowie Vorrichtungen zur Durchführung der Regeneration mit den in den Oberbegriffen der unabhängigen Ansprüche 1 bis 3 beziehungsweise 20 oder 21 genannten Merkmalen.

[0002] Verbrennungskraftmaschinen, die aus Gründen einer Verbrauchsoptimierung wenigstens zeitweise in einem mageren Betriebsmodus, das heißt mit einem sauerstoffreichen Abgas mit $\lambda > 1$, betrieben werden, produzieren Stickoxide NO_x in einem stöchiometrischen Überschuss. Dies hat zur Folge, dass bei einer katalytischen oxidativen Umsetzung von unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC und Kohlenmonoxid CO Stickoxide NO_x nicht vollständig zu umweltneutralem Stickstoff umgesetzt werden. Zur Abhilfe ist bekannt, NO_x -Speicherkatalysatoren in den Abgaskanälen von Verbrennungskraftmaschinen anzuordnen, die in mageren Betriebsphasen das NO_x als Nitrat einlagern. Um NO_x -Durchbrüche aufgrund eines vollbeladenen NO_x -Speicherkatalysators zu vermeiden, muss der NO_x -Speicherkatalysator in wiederkehrenden Abständen regeneriert werden. Zu diesem Zweck wird die Verbrennungskraftmaschine kurzfristig in einen fetten oder stöchiometrischen Arbeitsmodus ($\lambda \leq 1$) umgeschaltet. Infolgedessen steigt ein Reduktionsmittelmassenstrom des Abgases an, die als Nitrat eingelagerten Stickoxide werden desorbiert und katalytisch am NO_x -Speicherkatalysator unter gleichzeitiger Oxidation von CO und HC umgesetzt.

[0003] In einfachen Verfahren wird eine Regenerationsdauer, während der der Speicherkatalysator mit der fetten Abgasatmosphäre beaufschlagt wird, fest vorgegeben. Nachteilig hieran ist, dass ein tatsächlicher Beladungszustand des NO_x -Speicherkatalysators und eine aktuelle Regenerationsrate desselben nicht berücksichtigt wird. Eine solche Vorgehensweise birgt die Gefahr, dass die Regenerationsdauer zu kurz oder zu lang gewählt wird, wobei im ersteren Fall eine unvollständige Regeneration des Speichers und im zweiten Fall ein unnötiger Kraftstoffmeherverbrauch sowie eine Emission umweltschädlicher Reduktionsmittel (HC und CO) in Kauf genommen wird. Verfeinerte Verfahren versuchen einen tatsächlichen Beladungszustand des NO_x -Speicherkatalysators anhand bestimmter Betriebsparameter während der letzten Magerphase abzuschätzen und leiten hieraus eine erforderliche Regenerationsdauer ab. Jedoch ist auch dieses Verfahren mit erheblichen Ungenauigkeiten behaftet, so dass sich auch hier unzuverlässige NO_x -Regenerationsdauern mit den genannten Folgen ergeben können.

[0004] Des Weiteren sind Verfahren bekannt, bei denen mit Hilfe einer stromab des NO_x -Speicherkatalysators angeordneten Sensorik, die einen Sauerstoffanteil des Abgases misst, der Regenerationsverlauf über-

wacht wird. Dabei zeigt ein sinkender Sauerstoffanteil im Abgas einen verminderten Reduktionsmittelumsatz am NO_x -Speicher und somit steigende Anteile der Reduktionsmittel im Abgas an. Um Reduktionsmitteldurchbrüche zu vermeiden, wird die NO_x -Regeneration abgebrochen, das heißt die Verbrennungskraftmaschine wieder in einen mageren Betriebsmodus umgeschaltet, sobald der gemessene Sauerstoffanteil einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet beziehungsweise eine Sensorspannung eine entsprechende Grenzspannung überschreitet. Dieses Verfahren ist mit dem Nachteil verbunden, dass der Sensor erst reagieren kann, wenn bereits ein gewisser Reduktionsmitteldurchbruch auftritt. Ferner ist zum Zeitpunkt der Grenzwertüberreichung der gesamte Abgasweg zwischen Verbrennungskraftmaschine und NO_x -Speicherkatalysator noch mit fettem, das heißt reduktionsmittelhaltigem, Abgas gefüllt. Diese Reduktionsmittel (HC und CO) gelangen dann weitgehend unkonvertiert als Schadstoffe in die Umwelt. Um diese Schadstoffemission gering zu halten, darf gemäß dieser Vorgehensweise das Verbrennungslambda während der Regeneration nicht zu fett eingeregelt werden. Dies führt zusätzlich zu dem Nachteil verhältnismäßig langer Regenerationsdauern und einem unnötigen Kraftstoffmeherverbrauch.

[0005] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur NO_x -Regeneration eines NO_x -Speicherkatalysators zur Verfügung zu stellen, welches hinsichtlich einer möglichst geringen Reduktionsmittelemission optimiert ist und gleichzeitig eine vollständige Regeneration des Speicherkatalysators gewährleistet. In einem weiteren Aspekt soll ein möglichst schneller Ablauf des Verfahrens, das heißt kurze Regenerationsdauern, sichergestellt werden. Es soll ferner eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete und vorteilhafte Vorrichtung bereitgestellt werden.

[0006] Diese Aufgabe wird durch Verfahren mit den in den unabhängigen Ansprüchen 1, 2 und 3 genannten Merkmalen gelöst. Geeignete Vorrichtungen sind durch die in den unabhängigen Ansprüchen 20 und 21 genannten Merkmale gekennzeichnet.

[0007] Gemäß einem ersten erfindungsgemäßen Verfahren ist vorgesehen, dass

(a) während der NO_x -Regeneration das sauerstoffabhängige Signal der stromab des NO_x -Speicherkatalysators angeordneten Messeinrichtung hochgerechnet wird,

(b) auf Basis des hochgerechneten Signals ein theoretischer Zeitpunkt bestimmt wird, an dem ein vorgegebener Signalschwellenwert voraussichtlich überschritten wird, und

(c) das Regenerationsende bestimmt wird, indem eine im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine und NO_x -Speicherkatalysator entsprechende Zeitspanne von dem theo-

retischen Zeitpunkt subtrahiert wird.

[0008] Indem also das Signal der Messeinrichtung hochgerechnet wird, kann mit einer ausreichenden Zuverlässigkeit das Erreichen des vorgegebenen Signalschwellenwertes im Voraus ermittelt werden. Dies ermöglicht die Berücksichtigung der der Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine und NO_x-Speicherkatalysator entsprechenden Zeitspanne - nachfolgend einfachheitshalber als Abgaslaufzeit bezeichnet -, so dass die NO_x-Regeneration rechtzeitig, das heißt vor dem Auftreten eines Reduktionsmitteldurchbruches, abgebrochen werden kann. Insgesamt ermöglicht das Verfahren damit eine Verminderung der CO- und HC-Emission und eine Minimierung eines für die NO_x-Regeneration notwendigen Kraftstoffmehrverbrauchs.

[0009] Die Hochrechnung des sauerstoffabhängigen Signals der Messeinrichtung erfolgt gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine und/oder der Abgasanlage. Diese können etwa ein aktuelles, der Verbrennungskraftmaschine zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) und/oder ein Abgasmassenstrom und/oder eine Abgastemperatur und/oder eine Katalysatortemperatur umfassen. Die Genauigkeit der Hochrechnung kann weiterhin dadurch erhöht werden, dass sie unter Berücksichtigung eines Verhaltensmodells des NO_x-Speicherkatalysators erfolgt. Ein solches Verhaltensmodell kann etwa den Verlauf einer Regenerationsrate in Abhängigkeit von dem aktuellen Reduktionsmittelmassenstrom und/oder der Katalysatortemperatur beinhalten. Das Verhaltensmodell kann zudem den während der aktuellen Regeneration gemessenen Signalverlauf berücksichtigen. Eine vorteilhafte Weiterentwicklung des Verfahrens kann ferner erzielt werden, indem das Signal unter Berücksichtigung eines Verhaltensmodells der sauerstoffempfindlichen Messeinrichtung hochgerechnet wird. Dabei kann insbesondere eine Trägheit, also eine Zeitverzögerung, mit der die Messeinrichtung veränderte Abgasbedingungen anzeigt, aber auch eine aktuelle, etwa über einen Innenwiderstand gemessene, Temperatur der Messeinrichtung berücksichtigt werden.

[0010] Obwohl es prinzipiell möglich ist, die Abgaslaufzeit als Festwert vorzugeben, ist bevorzugt vorgesehen, diese anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine zu berechnen. Dabei kann auf bekannte Betriebsparameter wie Motorlast, Drehzahl oder Abgastemperatur oder auch andere geeignete Daten zurückgegriffen werden.

[0011] Da die Zuverlässigkeit der Hochrechnung des Signalverlaufes unter bestimmten extremen Randbedingungen vermindert sein kann, sieht eine bevorzugte Ausführung des Verfahrens vor, Grenzwerte für verschiedene Betriebsbedingungen der Verbrennungskraftmaschine und/oder der Abgasanlage vorzugeben und die Hochrechnung zu unterdrücken, wenn diese Grenzwerte nicht eingehalten werden. Dabei sind ins-

besondere Grenzwerte für den Abgasmassenstrom und/oder für die Temperatur des NO_x-Speicherkatalysators sinnvoll, da bei zu hohen Abgasmassenströmen oder zu niedrigen Katalysatortemperaturen die Regenerationsraten zu unstetig sind, um mit ausreichender Zuverlässigkeit hochgerechnet werden zu können. Die Signalthochrechnung kann vorteilhafterweise auch dann unterdrückt werden, wenn betriebspunktabhängige Störeinflüsse vorliegen, die eine irreguläre NO_x-Regeneration beeinflussen. Dies ist beispielsweise bei einer Schubabschaltung der Verbrennungskraftmaschine der Fall.

[0012] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens erfolgt die Hochrechnung nicht während der gesamten Regenerationsdauer des Speicherkatalysators, sondern erst nach Verstreichen einer vorgegebenen Zeit nach Beginn der Regeneration und/oder nach Durchsatz einer vorgegebenen Abgasmasse und/oder nach Überschreiten einer vorgegebenen Mindestschwelle des Signals der Messeinrichtung. Durch diese Maßnahmen wird gewährleistet, dass der Signalverlauf bereits über eine gewisse Mindestdauer bekannt ist und somit zuverlässiger extrapoliert werden kann. Nach Beginn der Hochrechnung sollte der Signalverlauf weiterhin verfolgt werden, so dass die Hochrechnung ständig aktualisiert werden kann.

[0013] Ein weiteres erfindungsgemäßes Verfahren sieht vor, dass

(a) während der NO_x-Regeneration das sauerstoffabhängige Signal der stromab des NO_x-Speicherkatalysators angeordneten Messeinrichtung hochgerechnet wird und

(b) ein der Verbrennungskraftmaschine während der Regeneration zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal unter Berücksichtigung einer im Wesentlichen der Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine und NO_x-Speicherkatalysator entsprechenden Zeitspanne variiert wird.

[0014] Die erfindungsgemäße Hochrechnung ermöglicht in diesem Aspekt der Erfindung die Berücksichtigung der Abgaslaufzeit bei der Veränderung des Verbrennungslambdas während der Regeneration, so dass auf eine zu erwartende Signalthöhe gewissermaßen vorausschauend reagiert werden kann. So ist es beispielsweise möglich, das Verbrennungslambda anzuheben, bevor ein durch die Hochrechnung prognostizierter, unerwünschter Reduktionsmitteldurchbruch auftritt, und diesen letztlich durch diese Maßnahme zu verringern oder sogar vollständig zu unterdrücken. Insgesamt ermöglicht das Verfahren damit eine Verminderung der CO- und HC-Emission und eine Minimierung eines für die NO_x-Regeneration notwendigen Kraftstoffmehrverbrauchs.

[0015] Die genannten Vorteile ergeben sich in noch stärkerem Ausmaß durch ein weiteres erfindungsgemäßes Verfahren, das im Wesentlichen eine Kombination der beiden erstgenannten Verfahren darstellt und nach welchem

(a) während der NO_x -Regeneration das sauerstoffabhängige Signal der Messeinrichtung hochgerechnet wird,

(b) auf Basis des hochgerechneten Signals ein theoretischer Zeitpunkt bestimmt wird, an dem ein vorgegebener erster Signalschwellenwert überschritten wird, und

(c) ein der Verbrennungskraftmaschine während der Regeneration zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal und/oder dem Zeitpunkt unter Berücksichtigung einer im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine und NO_x -Speicherkatalysator entsprechenden Zeitspanne variiert wird, wobei insbesondere das Regenerationsende bestimmt wird, indem die im Wesentlichen der Abgaslaufzeit entsprechende Zeitspanne von dem theoretischen Zeitpunkt subtrahiert wird.

[0016] Zusätzlich zu den Maßnahmen des vorausgenannten Verfahrens wird demnach das (theoretische) Erreichen des für einen Regenerationsabbruch vorgegebenen Signalschwellenwertes im Voraus ermittelt. Somit kann die Regeneration rechtzeitig, das heißt vor dem Auftreten eines Reduktionsmitteldurchbruches, abgebrochen werden.

[0017] Nach einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Verfahren wird das Verbrennungslambda der Verbrennungskraftmaschine dem Regenerationsende vorausgehend auf einen Wert nahe $\lambda = 1$ angehoben, wobei dieser Wert größer, das heißt magerer, als ein vorausgegangener Lambdawert und gleichzeitig $< \text{oder} = 1$ ist. Erfindungsgemäß ergeben sich mehrere Alternativen, um einen Zeitpunkt dieser Anhebung zu bestimmen. Beispielsweise kann die Anhebung nach Ablauf eines vorgebbaren Anteils einer durch die Hochrechnung ermittelten Regenerationsgesamtdauer erfolgen. Noch vorteilhafter ist es, das Verbrennungslambda bei Erreichen eines zweiten vorgegebenen Signalschwellenwertes durch das hochgerechnete Sensorsignal unter Berücksichtigung der Abgaslaufzeit anzuheben, wobei der zweite Signalschwellenwert sinnvollerweise kleiner ist als der erste Signalschwellenwert, sofern es sich um eine SONDENSspannung handelt. Die Anhebung des Verbrennungslambdas vor dem Regenerationsende bewirkt eine Verminderung eines Reduktionsmittelmassenstroms zu einem Zeitpunkt, an dem nur noch geringe Mengen eingelagerter Stickoxide im Speicherkatalysator zur Konvertierung der Reduktionsmittel zur Verfügung stehen. Durch diese Maßnahme

wird somit die Gefahr eines Reduktionsmitteldurchbruchs am Ende der Regeneration zusätzlich vermindert. Dabei hat es sich besonders bewährt, das Verbrennungslambda auf Lambdawerte von 0,94 bis 0,99, insbesondere auf 0,95 bis 0,98, anzuheben.

[0018] Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird das Verbrennungslambda der Verbrennungskraftmaschine so lange unterhalb eines vorausgegangenen Lambdawertes abgesenkt, bis das hochgerechnete Sensorsignal unter Berücksichtigung der Abgaslaufzeit einen dritten vorgegebenen Signalschwellenwert erreicht. In diesem Zusammenhang haben sich Verbrennungslambdawerte von 0,6 bis 0,9, insbesondere von 0,7 bis 0,8, besonders bewährt. Durch diese Ausgestaltung des Verfahrens wird der NO_x -Speicherkatalysator folglich mit einer vergleichsweise sehr fetten Abgasatmosphäre beaufschlagt, solange der Speicher noch einen durch die dritte Signalschwelle markierte Mindestbeladung an Stickoxiden aufweist. Durch diese zumindest zeitweise sehr fette Beaufschlagung des Speicherkatalysators wird eine Effizienz der NO_x -Umsetzung erhöht, die Regenerationsdauer verkürzt und letztendlich der für die Regeneration aufzuwendende Kraftstoffmeherverbrauch minimiert.

[0019] Es ist selbstverständlich denkbar, weitere Schwellenwerte vorzugeben, deren Überschreitung durch das hochgerechnete Sensorsignal weitere Variationen des Verbrennungslambdas auslöst. Zusätzliche Schwellenwerte können beispielsweise einen anderweitig ermittelten Alterungszustand des Speicherkatalysators berücksichtigen. Die verschiedenen Anhebungen und/oder Absenkungen des der Verbrennungskraftmaschine zuzuführenden Luft-Kraftstoff-Gemisches können auch stufenweise oder sogar kontinuierlich erfolgen.

[0020] Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen umfassen Mittel, mit denen die geschilderten Verfahrensschritte ausführbar sind. Die Mittel umfassen eine Steuereinheit, in der ein Algorithmus zur Steuerung der Verfahrensschritte in digitaler Form hinterlegt ist. Diese Steuereinheit kann vorteilhaft auch in ein Motorsteuergerät des Fahrzeuges integriert sein.

[0021] Die sauerstoffsensitive Messeinrichtung kann eine stromab des NO_x -Speicherkatalysators angeordnete Lambdasonde, insbesondere eine Breitband- oder eine Sprungantwort-Lambdasonde, sein oder ein NO_x -Sensor, der über ein Lambdaausgangssignal verfügt.

[0022] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

[0023] Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

55 **Figur 1** eine Prinzipdarstellung einer Verbrennungskraftmaschine mit einer Abgasanlage;

Figur 2 zeitliche Verläufe verschiedener Abgaspara-

meter während einer herkömmlichen NO_x -Regeneration;

Figur 3 zeitliche Verläufe verschiedener Abgasparameter während einer NO_x -Regeneration gemäß einer ersten Ausführung der vorliegenden Erfindung; und

Figur 4 zeitliche Verläufe verschiedener Abgasparameter während einer NO_x -Regeneration gemäß einer zweiten Ausführung der vorliegenden Erfindung.

[0024] Der in der Figur 1 dargestellten Verbrennungskraftmaschine 10 ist eine insgesamt mit 12 bezeichnete Abgasanlage zugeordnet. Die Abgasanlage 12 umfasst einen Abgaskanal 14, in dem ein in einer motornahen Position angeordneter Vorkatalysator 16 sowie ein großvolumiger NO_x -Speicherkatalysator 18 angeordnet ist. Neben dem Katalysatorsystem 16, 18 beherbergt der Abgaskanal 14 üblicherweise verschiedene, nicht gezeigte Gas- und/oder Temperatursensoren zur Regelung der Verbrennungskraftmaschine 10. Dargestellt ist hier lediglich eine sauerstoffempfindliche Messeinrichtung 20, die stromab des NO_x -Speicherkatalysators 18 angeordnet ist. Die Messeinrichtung 20 kann beispielsweise eine Lambdasonde oder ein NO_x -Sensor sein, welcher mit einer Lambdamessfunktion ausgestattet ist. In jedem Fall stellt die Messeinrichtung 20 ein von einem Sauerstoffanteil des Abgases abhängiges Signal U_λ bereit. Dieses Signal U_λ wird an ein Motorsteuergerät 22 übermittelt, in welchem es digitalisiert und weiterverarbeitet wird. Weitere, den Betriebszustand der Verbrennungskraftmaschine 10 betreffende Informationen finden ebenfalls Eingang in das Motorsteuergerät 22. In dem Motorsteuergerät 22 ist eine Steuereinheit 24 integriert, in welcher ein Algorithmus zur Durchführung des Verfahrens zur NO_x -Regeneration des NO_x -Speicherkatalysators 18 hinterlegt ist. Das Motorsteuergerät 22 und die Steuereinheit 24 sind in der Lage, mindestens einen Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10, insbesondere ein zuzuführendes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda), in Abhängigkeit von dem Signal U_λ der Messeinrichtung in noch zu erläuternder Weise zu beeinflussen.

[0025] Figur 2 zeigt den zeitlichen Verlauf verschiedener Parameter der Verbrennungskraftmaschine 10 sowie der Abgasanlage 12 während einer NO_x -Regeneration des NO_x -Speicherkatalysators 18, die nach einem herkömmlichen Verfahren durchgeführt wird. Zunächst befindet sich die Verbrennungskraftmaschine 10 in einem mageren Betriebsmodus, in dem ihr ein sauerstoffreiches Luft-Kraftstoff-Gemisch mit $\lambda_M \gg 1$ zugeführt wird (Graph 100). In dieser Phase enthält das Abgas einen Überschuss an Stickoxiden NO_x , die durch den Vorkatalysator 16 nicht vollständig konvertiert werden können. NO_x wird daher in den NO_x -Speicherkatalysator 18 eingelagert, dessen NO_x -Beladung dabei

kontinuierlich zunimmt (Graph 102). Anhand eines geeigneten Kriteriums wird zu einem Zeitpunkt t_A eine NO_x -Regenerationsnotwendigkeit erkannt. Dies kann beispielsweise ein, durch die Messeinrichtung 20 detektierter NO_x -Durchbruch sein. Infolgedessen wird die Verbrennungskraftmaschine 10 durch Einflussnahme des Motorsteuergerätes 22 in einen fetten Betriebsmodus umgeschaltet mit $\lambda_F < 1$. Infolge des nunmehr erhöhten Massenstroms der Reduktionsmittel CO und HC im Abgas wird das im NO_x -Speicherkatalysator 18 eingelagerte NO_x desorbiert und zu Stickstoff reduziert. Eine Abnahme der NO_x -Beladung (Graph 102) des Speicherkatalysators 18 ist jedoch erst nach einer gewissen zeitlichen Verzögerung nach Umschaltung der Verbrennungskraftmaschine 10 zu verzeichnen, da zum Zeitpunkt t_A der Abgaskanal 14 noch mit magerem Abgas gefüllt ist, welches zunächst noch den Speicherkatalysator 18 passieren muss, ehe die Reduktionsmittel diesen erreichen. Der Verlauf der NO_x -Regeneration wird währenddessen mit Hilfe des von der Messeinrichtung 20 bereitgestellten Signals U_λ - in der Regel eine Spannung - verfolgt. Die Sondenspannung U_λ (Graph 104) verhält sich umgekehrt proportional zu einer Sauerstoffkonzentration des Abgases stromab des Speicherkatalysators 18. Da mit fortschreitender Regeneration die Reduktionsmittel in immer geringerem Ausmaß verbraucht werden, steigt das Signal U_λ der Messeinrichtung 20 langsam an. Zu einem Zeitpunkt t_E erreicht das Signal U_λ einen vorgegebenen Schwellenwert U_{SE} , woraufhin die Verbrennungskraftmaschine 10 im Allgemeinen wieder in einen mageren Betriebsmodus mit $\lambda_M \gg 1$ umgeschaltet wird. Zum Zeitpunkt des Regenerationsendes t_E befindet sich jedoch noch Abgas mit einem hohen Reduktionsmittelanteil in dem Abgaskanal 14 zwischen der Verbrennungskraftmaschine 10 und dem Speicherkatalysator 18. Dieses durchströmt den nunmehr praktisch NO_x -freien Speicherkatalysator 18 und gelangt unkonvertiert in die Umwelt. Der Verlauf der stromab des Katalysators gemessenen Konzentration von Kohlenmonoxid CO und unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC (Graph 106) zeigt daher nach Regenerationsende t_E noch einen unerwünscht hohen Anstieg.

[0026] Um die Emission von Schadstoffen zu verringern, wird gemäß der vorliegenden Erfindung ein anderer Ansatz verfolgt, um das Regenerationsende t_E zu bestimmen. Der zeitliche Verlauf der gleichen Parameter wie in Figur 2 ist in Figur 3 dargestellt - diesmal während einer Regeneration gemäß einer ersten typischen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Nach Beginn der Regeneration zum Zeitpunkt t_A durch Umschaltung der Verbrennungskraftmaschine 10 von einem mageren Betriebsmodus mit $\lambda_M \gg 1$ in einen fetten Modus mit $\lambda_{F1} < 1$ wird zunächst das Signal U_λ der Messeinrichtung 20 (Graph 104) in bekannter Weise gemessen und aufgezeichnet. Nach Verstreichen einer vorgegebenen Zeitspanne beginnt die Steuereinheit 24 zu einem Zeitpunkt t_{AH} mit einer Hochrechnung des Si-

gnals U_λ . Dies geschieht auf Basis des bislang gemessenen Verlaufs von U_λ und anhand verschiedener Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10 sowie der Abgasanlage 12. Ferner können Verhaltensmodelle des Speicherkatalysators 18 sowie der Messeinrichtung 20 bei der Hochrechnung berücksichtigt werden. Auf Basis des hochgerechneten Signalverlaufes wird ein Zeitpunkt t_S bestimmt, an dem der vorgegebene Signalschwellenwert U_{SE} theoretisch erreicht wird.

[0027] Anhand ausgewählter Betriebsparameter berechnet die Steuereinheit 24 ferner eine Zeitspanne Δt , die der aktuellen Abgaslaufzeit, die das Abgas bis zum Erreichen des Speicherkatalysators benötigt, entspricht. Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird dann der Zeitpunkt des tatsächlichen Regenerationsendes t_E durch Subtraktion der Abgaslaufzeit Δt von dem Zeitpunkt t_S bestimmt. Während des Zeitraumes T_H wird anhand aktueller Betriebsparameter und anhand des tatsächlichen Signalverlaufes U_λ die Hochrechnung und damit das Regenerationsende t_E ständig aktualisiert. Ist das so bestimmte Regenerationsende t_E erreicht, wird die Verbrennungskraftmaschine 10 wieder in den mageren Betriebsmodus mit λ_M umgeschaltet. Zu diesem Zeitpunkt liegt in dem Speicherkatalysator 18 noch eine geringe Menge eingelagertes NO_x vor (Graph 102), welches ausreicht, um die restlichen, im Abgas enthaltenen Reduktionsmittel zu konvertieren. Folglich werden stromab des Speicherkatalysators 18 nach dem Regenerationsende t_E nur noch sehr geringe Anteile an Schadstoffen gemessen (Graph 106).

[0028] Die zeitlichen Verläufe der Parameter gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung eines weiteren erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem ein vorgegebenes Verbrennungslambda unter Berücksichtigung des hochgerechneten Sensorsignals U_λ und der Abgaslaufzeit variiert wird, zeigt Figur 4. Dabei erfolgt die Hochrechnung des Sensorsignals U_λ (Graph 104) sowie die Ermittlung der Abgaslaufzeit Δt analog zu der im Rahmen von Figur 3 erläuterten Vorgehensweise.

[0029] Unmittelbar nach Beginn der Hochrechnung des Sensorsignals U_λ zum Zeitpunkt t_{AH} wird zunächst überprüft, ob zum aktuellen Zeitpunkt und nach Ablauf der ermittelten Abgaslaufzeit Δt das hochgerechnete Sensorsignal U_λ sich noch unterhalb eines vorgegebenen ersten Schwellenwertes U_{S1} befindet. Nur bei Bejahung dieser Überprüfung kann - wie im dargestellten Beispiel - ein der Verbrennungskraftmaschine 10 zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch auf einen von einem anfänglich eingestellten Lambdawert λ_{F1} abweichenden Lambdawert λ_{F2} geändert werden. (Graph 100). Bei Absenkung des Lambdawertes auf einen gegenüber dem Lambdawert λ_{F1} niedrigeren Lambdawert λ_{F2} steigt der Reduktionsmittelmassenstrom des Abgases weiter an und damit die Regenerationsrate, was sich in einem steileren Abfall der NO_x -Beladung des Speicherkatalysators 18 niederschlägt (Graph 102). λ_{F2} wird so lange beibehalten, bis das hochgerechnete Signal U_λ unter Berücksichtigung von Δt den Schwellenwert U_{S1} er-

reicht. Dies ist zum Zeitpunkt t_1 der Fall, an dem das Verbrennungslambda wieder auf einen weniger fetten Lambdawert λ_{F3} angehoben wird (Graph 100).

[0030] Kurze Zeit später erreicht im vorliegenden Beispiel das hochgerechnete Sensorsignal U_λ einen zweiten, aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellten Signalschwellenwert U_{S2} , der zwischen U_{S1} und U_{SE} angesiedelt ist. Das Erreichen des Signalschwellenwertes U_{S2} signalisiert, dass die NO_x -Beladung des Speicherkatalysators 18 nahezu erschöpft ist. Um einen drohenden Schadstoffdurchbruch durch das fette Abgas zu vermeiden, wird das Verbrennungslambda weiter auf einen Wert von λ_{F4} nahe 1 angehoben. λ_{F4} beträgt dann typischerweise 0,95 bis 0,98.

[0031] Auf Basis des hochgerechneten Signalverlaufes wird ferner gemäß dem in Figur 3 dargestellten Verfahren der Zeitpunkt t_S bestimmt, an dem der vorgegebene Signalschwellenwert U_{SE} theoretisch erreicht wird. Durch Subtraktion der Abgaslaufzeit Δt von dem Zeitpunkt t_S wird dann der Zeitpunkt des (tatsächlichen) Regenerationsendes t_E bestimmt. Ist das so bestimmte Regenerationsende t_E erreicht, wird die Verbrennungskraftmaschine 10 wieder in den mageren Betriebsmodus mit λ_M umgeschaltet, um den Schadstoffdurchbruch (Graph 106) zu verhindern. Die zu diesem Zeitpunkt noch im Speicherkatalysator 18 vorliegende geringe Menge NO_x (Graph 102) sorgt für die weitgehende Umsetzung des geringen noch im Abgas enthaltenen Reduktionsmittelanteils.

[0032] Der Vergleich der durch die Graphen 106 in den Figuren 2 und 4 symbolisierten Konzentrationen von Kohlenmonoxid CO und unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC stromab des NO_x -Speicherkatalysators 18 zeigt eine starke Verringerung der regenerationsbedingten Schadstoffemission. Es wird aber auch deutlich, dass bei geeigneter Wahl der Lambdawerte λ_{F1} bis λ_{F4} durch das erfindungsgemäße Verfahren die Gesamtdauer der NO_x -Regeneration reduziert werden kann, wodurch sich eine Minimierung des für die Regeneration notwendigen Kraftstoffmeherverbrauches ergibt.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0033]

- | | |
|-----|---|
| 10 | Verbrennungskraftmaschine |
| 12 | Abgasanlage |
| 14 | Abgaskanal |
| 16 | Vorkatalysator |
| 18 | NO_x -Speicherkatalysator |
| 20 | sauerstoffempfindliche Messeinrichtung |
| 22 | Motorsteuergerät |
| 24 | Steuereinheit |
| 100 | Verbrennungslambda |
| 102 | NO_x -Beladung des NO_x -Speicherkatalysators |
| 104 | Signalverlauf (U_λ) der Messeinrichtung |
| 106 | Reduktionsmittelgehalt im Abgas |

t_A	Regenerationsbeginn	
t_E	Regenerationsende	
t_S	Zeitpunkt der Überschreitung von U_{SE}	
t_{AH}	Hochrechnungsbeginn	
T_H	Hochrechnungsdauer	5
Δt	Abgaslaufzeit	
U_λ	Signal der Messeinrichtung	
U_{SE}	Schwellenwert zur Beendigung der NO_X -Regeneration	
U_{Si}	Schwellenwerte zur Anhebung oder Absenkung des Verbrennungslambdas	10
λ_M	Lambdamagerwert	
λ_F	Lambdafettwert	

Patentansprüche

- Verfahren zur NO_X -Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten NO_X -Speicherkatalysators (18), wobei der NO_X -Speicherkatalysator (18) bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer fetten bis stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit $\lambda \leq 1$ beaufschlagt wird und ein Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des NO_X -Speicherkatalysators (18) angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung (20) bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - während der NO_X -Regeneration das sauerstoffabhängige Signal (U_λ) der Messeinrichtung (20) hochgerechnet wird,
 - auf Basis des hochgerechneten Signals ein theoretischer Zeitpunkt (t_S) bestimmt wird, an dem ein vorgegebener Signalschwellenwert (U_{SE}) überschritten wird, und
 - das Regenerationsende (t_E) bestimmt wird, indem eine im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und NO_X -Speicherkatalysator (18) entsprechende Zeitspanne (Δt) von dem theoretischen Zeitpunkt (t_S) subtrahiert wird.
- Verfahren zur NO_X -Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten NO_X -Speicherkatalysators (18), wobei der NO_X -Speicherkatalysator (18) bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer fetten bis stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit $\lambda \leq 1$ beaufschlagt wird und ein Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des NO_X -Speicherkatalysators (18) angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung (20) bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass**

(a) während der NO_X -Regeneration das sauerstoffabhängige Signal (U_λ) der Messeinrichtung (20) hochgerechnet wird und

(b) ein der Verbrennungskraftmaschine (10) während der Regeneration zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal (U_λ) unter Berücksichtigung einer im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und NO_X -Speicherkatalysator (18) entsprechenden Zeitspanne (Δt) variiert wird.

- Verfahren zur NO_X -Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten NO_X -Speicherkatalysators (18), wobei der NO_X -Speicherkatalysator (18) bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer fetten bis stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit $\lambda \leq 1$ beaufschlagt wird und ein Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des NO_X -Speicherkatalysators (18) angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung (20) bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass**

(a) während der NO_X -Regeneration das sauerstoffabhängige Signal (U_λ) der Messeinrichtung (20) hochgerechnet wird,

(b) auf Basis des hochgerechneten Signals ein theoretischer Zeitpunkt (t_S) bestimmt wird, an dem ein vorgegebener erster Signalschwellenwert (U_{SE}) überschritten wird, und

(c) ein der Verbrennungskraftmaschine (10) während der Regeneration zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal (U_λ) und/oder dem Zeitpunkt (t_S) unter Berücksichtigung einer im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und NO_X -Speicherkatalysator (18) entsprechenden Zeitspanne (Δt) variiert wird.

- Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Regenerationsende (t_E) bestimmt wird, indem die im Wesentlichen der Abgaslaufzeit entsprechende Zeitspanne (Δt) insbesondere durch Subtraktion berücksichtigt wird.
- Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das sauerstoffabhängige Signal (U_λ) anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine (10) und/oder der Abgasanlage (12) hochgerechnet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das sauerstoffabhängige Signal (U_λ) in Abhängigkeit eines der Verbrennungskraftmaschine (10) zugeführten Luft-Kraftstoff-Gemisches und/oder eines Abgasmassenstromes und/oder einer Abgastemperatur und/oder einer Katalysatortemperatur hochgerechnet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das sauerstoffabhängige Signal (U_λ) unter Berücksichtigung eines Verhaltensmodells des NO_x -Speicherkatalysators (18) hochgerechnet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das sauerstoffabhängige Signal (U_λ) unter Berücksichtigung eines Verhaltensmodells der sauerstoffempfindlichen Messeinrichtung (20), insbesondere einer Trägheit der Messeinrichtung (20), hochgerechnet wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hochrechnung nach einem Verstreichen einer vorgegebenen Zeit nach Beginn der Regeneration und/oder nach Durchsatz einer vorgegebenen Abgasmasse und/oder nach Überschreiten einer vorgegebenen Schwelle des Signals (U_λ) beginnt.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abgaslaufzeit (Δt) anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine (10) berechnet wird oder vorgegeben wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hochrechnung des Signals (U_λ) unterbleibt, wenn vorgegebene Grenzwerte für Betriebsbedingungen der Verbrennungskraftmaschine (10) und/oder der Abgasanlage (12) nicht eingehalten werden.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** Grenzwerte für den Abgasmassenstrom und/oder für die Temperatur des NO_x -Speicherkatalysators (18) vorgegeben werden.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hochrechnung des Signals (U_λ) bei einer Schubabschaltung während der NO_x -Regeneration unterbleibt.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verbrennungslambda bei Erreichen eines zweiten vorgegebenen Signalschwellenwertes (U_{S2}) durch das hochgerechnete Sensorsignal (U_λ) unter Berücksichtigung der Abgaslaufzeit (Δt) oder nach Ablauf eines vorgebbaren Anteils einer durch die Hochrechnung ermittelten Regenerationsdauer angehoben wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verbrennungslambda der Verbrennungskraftmaschine (10) dem Regenerationsende (t_E) vorausgehend auf einen Wert (λ_{F4}) angehoben wird, der größer als ein vorausgegangener Verbrennungslambda wert und ≤ 1 ist.
16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verbrennungslambda auf $\lambda_{F4} = 0,94$ bis $0,99$, insbesondere auf $0,95$ bis $0,98$, angehoben wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verbrennungslambda der Verbrennungskraftmaschine (10) so lange auf einen Wert (λ_{F2}) unterhalb eines vorausgegangenen Lambdawertes (λ_{F1}) abgesenkt wird, bis das hochgerechnete Sensorsignal (U_λ) unter Berücksichtigung der Abgaslaufzeit (Δt) einen dritten vorgegebenen Signalschwellenwert (U_{S1}) erreicht.
18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verbrennungslambda auf $\lambda_{F2} = 0,6$ bis $0,9$, insbesondere auf $0,7$ bis $0,8$, abgesenkt wird.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anhebung und/oder Absenkung des Verbrennungslambdas stufenweise erfolgt.
20. Vorrichtung zur Durchführung einer Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten NO_x -Speicherkatalysators (18), wobei der NO_x -Speicherkatalysator (18) bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer fetten bis stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit $\lambda \leq 1$ beaufschlagt wird und ein Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des NO_x -Speicherkatalysators (18) angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung (20) bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, **gekennzeichnet durch** Mittel, mit denen die Verfahrensschritte
- (a) Hochrechnung des sauerstoffabhängigen Signals (U_λ) der Messeinrichtung (20) während der NO_x -Regeneration,
- (b) Bestimmung eines theoretischen Zeitpunktes (t_S) auf Basis des hochgerechneten Signals, an dem ein vorgegebener Signalschwellenwert (U_{SE}) überschritten wird, und

(b) Bestimmung des Regenerationsendes (t_E), indem eine im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und NO_x -Speicherkatalysator (18) entsprechende Zeitspanne (Δt) von dem theoretischen Zeitpunkt (t_S) subtrahiert wird, ausführbar sind. 5

21. Vorrichtung zur Durchführung einer Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten NO_x -Speicherkatalysators (18), wobei der NO_x -Speicherkatalysator (18) bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer fetten bis stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit $\lambda \leq 1$ beaufschlagt wird und ein Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des NO_x -Speicherkatalysators (18) angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung (20) bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, **gekennzeichnet durch** Mittel, mit denen die Verfahrensschritte 10 15 20

(a) Hochrechnung des sauerstoffabhängigen Signals (U_λ) der Messeinrichtung (20) während der NO_x -Regeneration und 25

(b) Variierung eines der Verbrennungskraftmaschine (10) während der Regeneration zugeführten Luft-Kraftstoff-Gemisches (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal (U_λ) unter Berücksichtigung einer im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und NO_x -Speicherkatalysator (18) entsprechenden Zeitspanne (Δt) 30 35

ausführbar sind.

22. Vorrichtung nach Anspruch 20 oder 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel eine Steuereinheit (24) umfassen, in der ein Algorithmus zur Steuerung der Verfahrensschritte in digitaler Form hinterlegt ist. 40

23. Vorrichtung nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinheit (24) in ein Motorsteuergerät (22) integriert ist. 45

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** die sauerstoffsensitive Messeinrichtung (20) eine Breitband- oder Sprungantwort-Lambdasonde oder einen NO_x -Sensor umfasst. 50 55

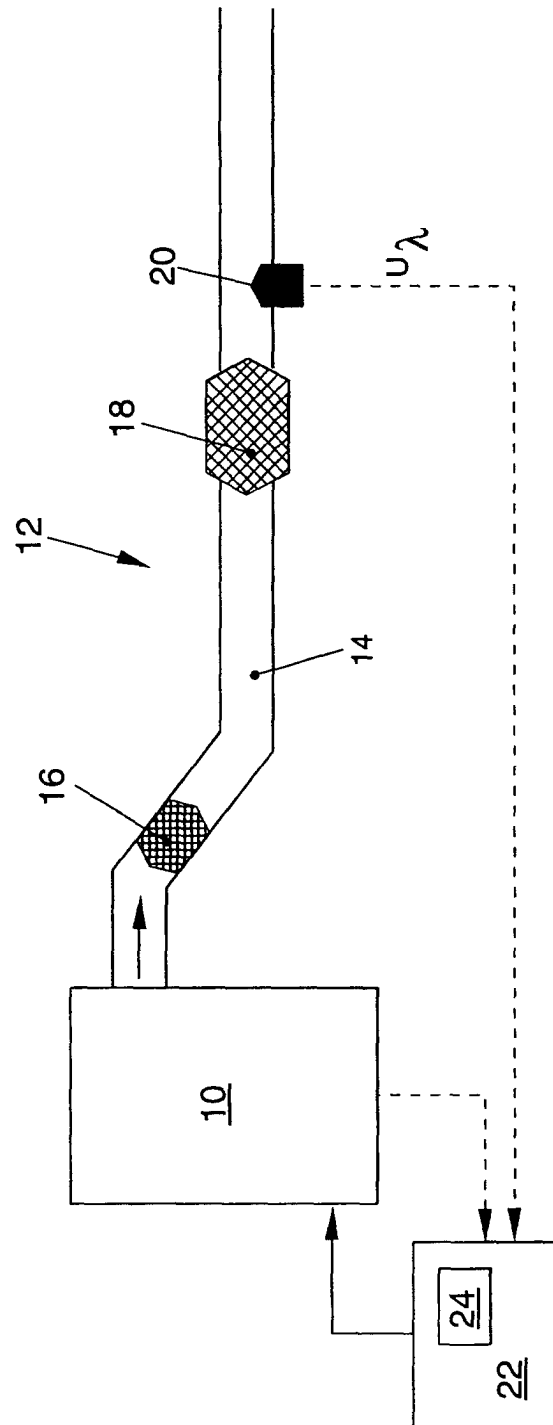
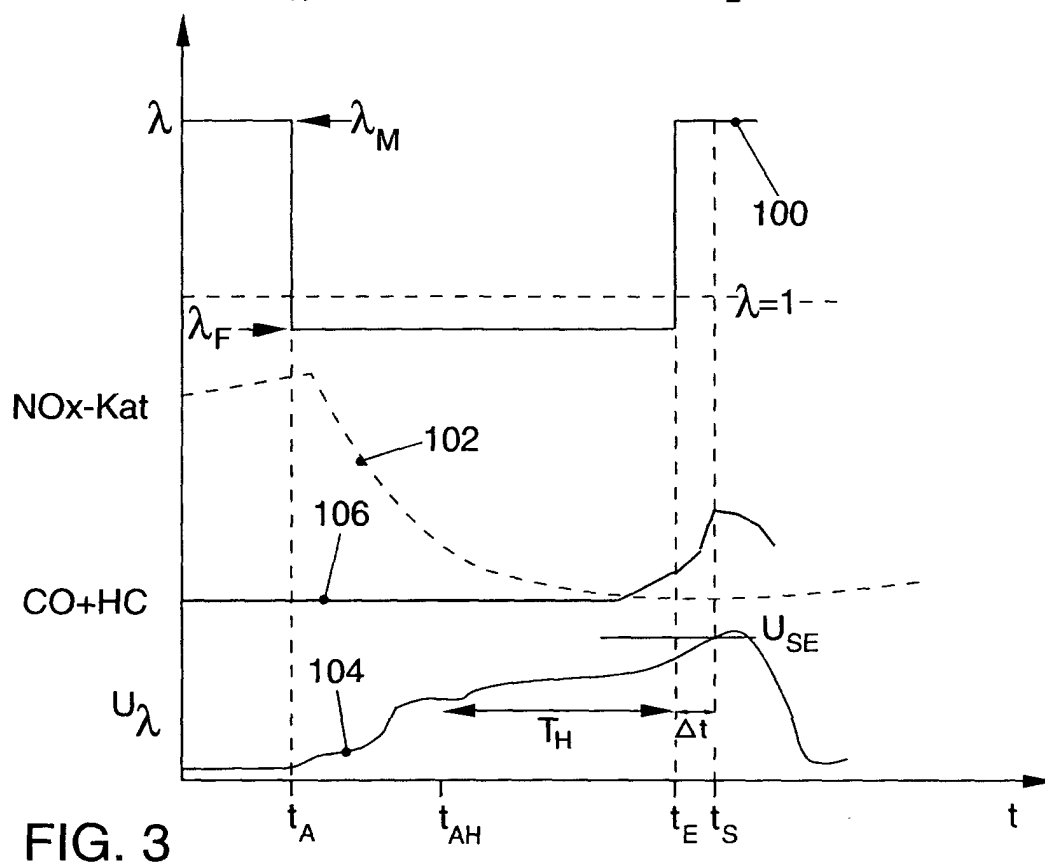
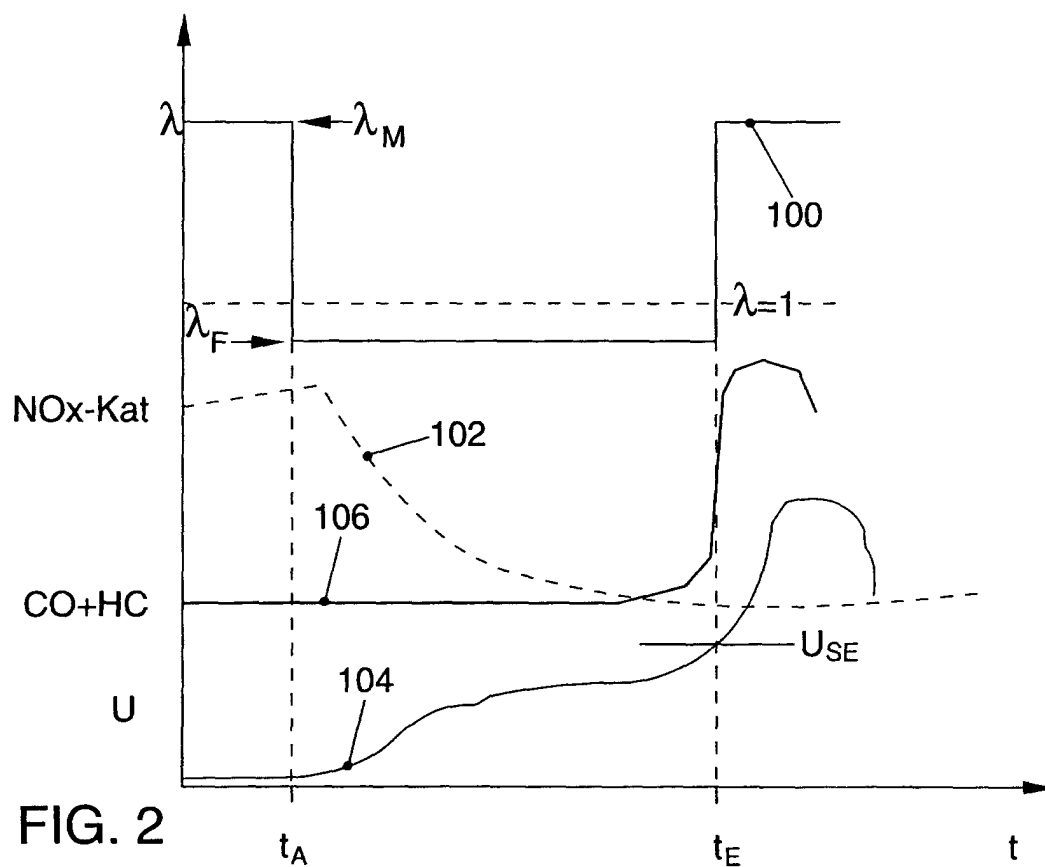


FIG. 1



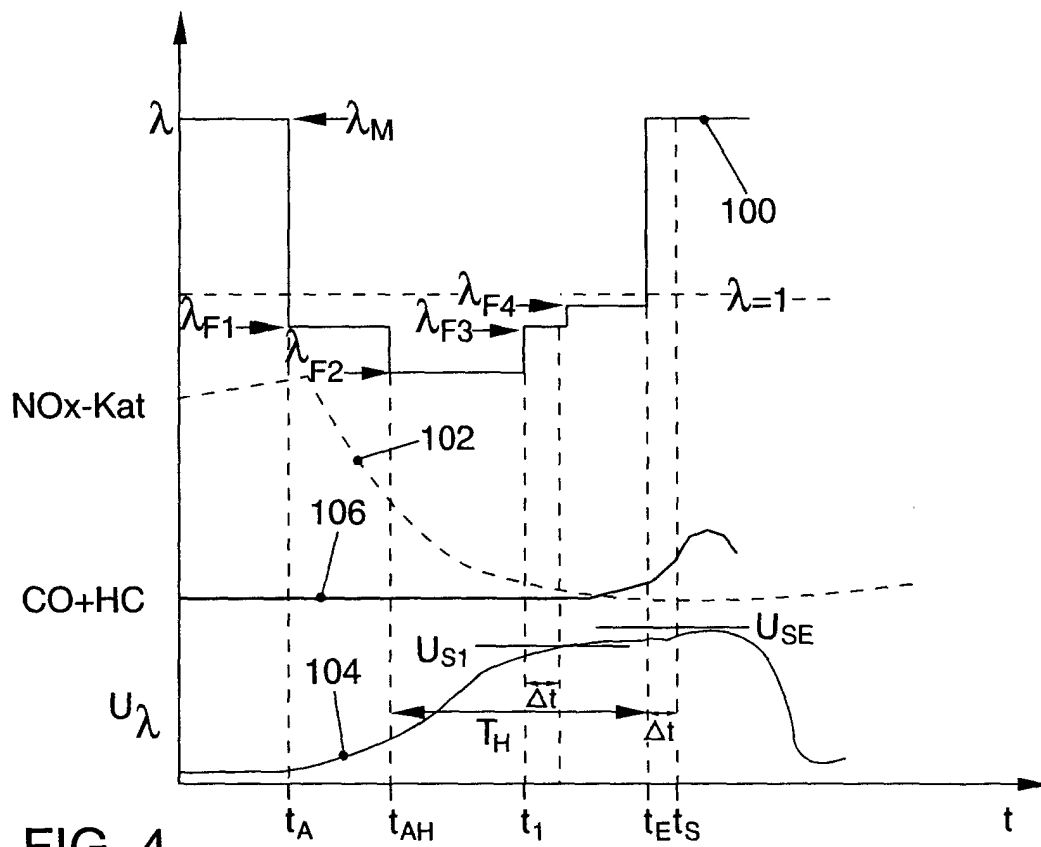


FIG. 4