



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **101 30 053.0**  
(22) Anmeldetag: **21.06.2001**  
(43) Offenlegungstag: **02.01.2003**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **07.02.2013**

(51) Int Cl.: **F01N 9/00 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Volkswagen AG, 38440, Wolfsburg, DE**

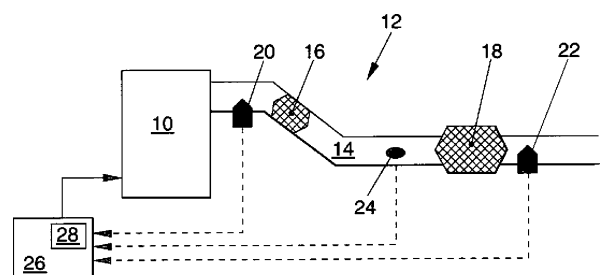
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

(72) Erfinder:  
**Standt, Ulrich-Dieter, Dr., 38527, Meine, DE; Pott,  
Ekkehardt, Dr., 38518, Gifhorn, DE; Holz, Matthias,  
38165, Lehre, DE; Hupfeld, Bernd, 38518, Gifhorn,  
DE**

**DE 198 55 090 A1**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Entschwefelung eines NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Entschwefelung eines in einem Abgaskanal einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine angeordneten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators, wobei der NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator in wiederkehrenden Intervallen mit einer fetten Abgasatmosphäre mit einem Luft-Kraftstoff-Verhältnis  $\lambda < 1$  und einer variablen Entschwefelungstemperatur beaufschlagt wird, die größer oder gleich einer Mindestentschwefelungstemperatur ( $T_{\min}$ ) ist, wobei – mindestens 70% derjenigen Entschwefelungsintervalle ( $DE_a$ ), die durch aktive Maßnahmen zur Anhebung der Katalysatortemperatur eingeleitet werden, als Tieftemperaturentschwefelung ( $DE_{a,L}$ ) bei einer ersten Abgastemperatur ( $T_L$ ) stromauf des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (18) durchgeführt werden, die kleiner oder gleich einer Grenztemperatur ( $T_{L,\max}$ ) von etwa 660°C ist, wobei bei einer Temperatur ( $T_{70}$ ) von etwa 610°C innerhalb von drei Minuten höchstens 70% einer maximal in den NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (18) speicherbaren Schwefelmasse ausgetragen werden, und – mindestens 0,1% aller Entschwefelungsintervalle ( $DE_a$ ,  $DE_p$ ) als Hochtemperaturentschwefelung (DEH) bei einer zweiten Entschwefelungstemperatur (TH) durchgeführt werden, die oberhalb der Grenztemperatur ( $T_{L,\max}$ ) von 660°C liegt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Entschwefelung eines in einem Abgaskanal einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine angeordneten  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysators sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens mit den im Oberbegriff der Ansprüche 1 und 10 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 auch im mageren Betrieb Stickoxide  $\text{NO}_x$ , wenn auch spezifisch weniger als im stöchiometrischen Betrieb. Nachteilig ist bei der mageren Betriebsweise, dass bei einer katalytischen, oxidativen Umsetzung von unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC und Kohlenmonoxid CO mit herkömmlichen 3-Wege-Katalysatoren Stickoxide  $\text{NO}_x$  nicht zu umweltneutralem Stickstoff umgesetzt werden können. Zur Abhilfe ist bekannt,  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysatoren in Abgaskanälen von Verbrennungskraftmaschinen anzuordnen, die 3-Wege-Katalysator- und  $\text{NO}_x$ -Speicher-Komponenten in sich vereinigen. Durch einen diskontinuierlichen Betrieb der Verbrennungskraftmaschine in wechselweise mageren ( $\lambda > 1$ ) und fetten ( $\lambda \leq 1$ ) Betriebsphasen erfolgt in den mageren Phasen die Einspeicherung von Stickoxiden in Form von Nitrat, während in den kürzeren fetten Phasen eine  $\text{NO}_x$ -Regeneration des Speichers stattfindet. Dabei werden infolge eines im Fettbetrieb erhöhten Reduktionsmittelmassenstromes im Abgas die als Nitrat eingelagerten Stickoxide desorbiert und katalytisch am  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysator unter gleichzeitiger Oxidation von CO und HC umgesetzt.

**[0003]** Ein bekanntes Problem derartig betriebener  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysatoren stellt der in heutigen Kraftstoffen enthaltene Schwefel dar, welcher im Magerbetrieb nahezu vollständig in Form von Sulfat in den  $\text{NO}_x$ -Speicher eingelagert wird. Die Folge ist eine schleichende Schwefelvergiftung des Katalysators, die zu einer nachlassenden  $\text{NO}_x$ -Speicherfähigkeit führt. Um eine ursprüngliche Speicherkapazität des Katalysators wiederherzustellen, ist bekannt, in größeren Abständen Entschwefelungen durchzuführen, bei denen der Katalysator bei Temperaturen von über  $600^\circ\text{C}$  mit einer fetten Abgasatmosphäre beaufschlagt wird. Die hohe Temperatur sowie ein im fetten Abgas vorhandenes hohes Reduktionsmittelangebot ermöglichen die Desorption und Reduktion des Sulfates überwiegend zu Schwefeldioxid  $\text{SO}_2$ , teilweise auch zu Schwefelverbindungen mit negativer Oxidationsstufe. Dabei wird durch höhere Temperaturen und fettere Luft-Kraftstoff-Verhältnisse, ausgedrückt als  $\lambda < 1$ , eine Entschwefelungsgeschwindigkeit beschleunigt und eine gründlichere, auch tiefer gelegene Schichten der Katalysatorbeschichtung betreffende Entschwefelung erzielt.

Nachteilig ist hier jedoch, dass derartig drastische Entschwefelungsbedingungen einen höheren Kraftstoffverbrauch verursachen, der den durch die Magerlauffähigkeit der Verbrennungskraftmaschine erzielten Verbrauchsvorteil vermindert. Zudem führen die hohen Temperaturen zu einer starken thermischen Belastung des gesamten Katalysatorsystems, insbesondere eines häufig vorgeschalteten Vorkatalysators, die zu einer irreversiblen Schädigung und einer verminderten Lebensdauer der Katalysatoren führen kann. Wird auf der anderen Seite der  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysator nur bei verhältnismäßig geringen Temperaturen und schwach fetten Abgasatmosphären entschwefelt, wird nur oberflächlich gespeicherter Schwefel ausgetrieben und nur eine geringere Entschwefelungsgeschwindigkeit erzielt. Infolgedessen müssen die Entschwefelungen verhältnismäßig häufig und über längere Entschwefelungszeiten durchgeführt werden.

**[0004]** Diesem Spannungsfeld zwischen erhöhtem Kraftstoffverbrauch und Katalysatorschädigung einerseits und unvollständiger Entschwefelung andererseits trägt die DE 198 55 090 A1 Rechnung, indem sie ein Entschwefelungsverfahren beschreibt, bei dem Entschwefelungen wechselweise bei unterschiedlich hohen Entschwefelungstemperaturen durchgeführt werden. Eine Anleitung zur Gewichtung der Hoch- und der Tieftemperaturentschwefelungsintervalle wird jedoch nicht offenbart.

**[0005]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Entschwefelung eines gattungsgemäßen  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysators bereitzustellen, das hinsichtlich einer möglichst geringen thermischen Belastung des Katalysators und eines möglichst niedrigen Kraftstoffmehrertrags optimiert ist und gleichzeitig eine weitestgehend vollständige Schwefelregeneration gewährleistet.

**[0006]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 10 gelöst. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass mindestens 70% derjenigen Entschwefelungsintervalle, die durch aktive Maßnahmen zur Anhebung einer Temperatur des  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysators eingeleitet werden, als Tieftemperaturentschwefelung bei einer ersten Abgastemperatur stromauf des  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysators durchgeführt werden, die kleiner oder gleich einer Grenztemperatur von etwa  $660^\circ\text{C}$  ist, wobei bei einer Temperatur von etwa  $610^\circ\text{C}$  innerhalb von drei Minuten höchstens 70% einer maximal in den  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysator speicherbaren Schwefelmasse ausgetragen werden, und dass mindestens 0,1% aller Entschwefelungsintervalle ( $\text{DE}_a$ ,  $\text{DE}_p$ ) als Hochtemperaturentschwefelung ( $\text{DEH}$ ) bei einer zweiten Entschwefelungstemperatur ( $\text{TH}$ ) durchgeführt werden, die oberhalb der Grenztemperatur ( $\text{T}_{L,\text{max}}$ ) von  $660^\circ\text{C}$  liegt. Indem demnach

also ein Hauptteil der aktiv eingeleiteten Entschwefelungsintervalle in einem vorgegebenen Tieftemperaturbereich, der sich von einer Mindestentschwefelungstemperatur bis zur vorgegebenen Grenztemperatur erstreckt, durchgeführt wird, erfährt der  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysator während seiner gesamten Betriebsdauer eine überwiegend schonende Behandlung, unter welcher thermische, irreversible Schädigungen des Katalysators weitgehend vermieden werden. Gleichzeitig wird ein durch die Magerlauffähigkeit der Verbrennungskraftmaschine erzielter Verbrauchsvorteil nur so stark wie nötig vermindert.

**[0007]** Um dem  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysator gelegentlich auch eine weitgehend vollständige Entschwefelung, die auch tiefer gelegene Speicherschichten von eingelagertem Schwefel befreit, zukommen zu lassen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass mindestens 0,1%, vorzugsweise mindestens 2%, aller Entschwefelungsintervalle als Hochtemperaturentschwefelung bei einer zweiten Entschwefelungstemperatur durchgeführt werden, die oberhalb der Grenztemperatur von 660°C liegt. Dabei werden Entschwefelungsparameter der Hochtemperaturentschwefelung, insbesondere eine Entschwefelungsdauer und/oder das Luft-Kraftstoff-Verhältnis während der Entschwefelung, derart gewählt, dass mindestens 90%, insbesondere mindestens 95%, des maximal in den  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysator speicherbaren Schwefels entfernt werden. Diese Hochtemperaturentschwefelung kann dabei sowohl als aktiv eingeleitete Entschwefelung als auch als so genannte passive Entschwefelung durchgeführt werden, bei der – bedingt durch einen aktuellen Betriebspunkt der Verbrennungskraftmaschine – auch ohne gezielte Maßnahmen zur Temperaturanhebung eine ausreichende Katalysatortemperatur vorliegt. Dabei wird – soweit dies ein vorwiegender Einsatz des Fahrzeuges erlaubt – die Hochtemperaturentschwefelung möglichst weitgehend durch passive Entschwefelungsintervalle abgedeckt. Wird also das Fahrzeug regelmäßig oder häufig im so genannten Volllastbetrieb, zum Beispiel für Autobahnfahrten, eingesetzt, werden häufig passiv eingeleitete Hochtemperaturentschwefelungen auftreten, so dass aktiv eingeleitete Hochtemperaturentschwefelungen nur selten, im Extremfall niemals, notwendig werden. Wird ein Fahrzeug andererseits hauptsächlich im Teil- oder Niedriglastbetrieb, beispielsweise im Stadtverkehr, eingesetzt, werden häufiger aktive Hochtemperaturentschwefelungen notwendig. Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt somit auch eine optimale Abstimmung auf den typischen Einsatzbereich eines Fahrzeuges.

**[0008]** Verschiedene Verfahren sind bekannt, mit denen eine Notwendigkeit für eine aktiv eingeleitete Entschwefelung ermittelt werden kann. Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Entschwefelungsnotwendigkeit vorzugsweise in Abhän-

gigkeit eines berechneten Schwefeleintrags in den  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysator ermittelt. Dabei kann sich die Berechnung insbesondere auf eine tatsächlich eingespritzte Kraftstoffmasse, einen durchschnittlichen Schwefelanteil im Kraftstoff und/oder eine modellierte oder gemessene Katalysatortemperatur stützen. Es ist ferner möglich, die Entschwefelungsnotwendigkeit in Abhängigkeit einer aktuellen  $\text{NO}_x$ -Speicheraktivität des  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysators, welche beispielsweise mittels eines hinter dem  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysator angeordneten  $\text{NO}_x$ -Sensors erfasst wird, zu ermitteln. Besonders vorteilhaft können die beiden genannten Verfahren miteinander kombiniert werden. Wenn etwa durch einen höheren als vorausgesetzten Schwefelanteil des Kraftstoffes der Katalysator schneller als der Berechnung zufolge verschwefelt, kann die Entschwefelungsnotwendigkeit anhand der mittels des  $\text{NO}_x$ -Sensors erfassten nachlassenden  $\text{NO}_x$ -Speicheraktivität erkannt werden.

**[0009]** Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens kann eine aktive Entschwefelung eingeleitet werden, ohne dass eine Entschwefelungsnotwendigkeit erkannt wird, wenn gewisse Betriebsbedingungen für eine Entschwefelung günstig sind. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Abgas- beziehungsweise die Katalysatortemperatur eine vorgegebene Temperaturschwelle zwar überschreitet, die Mindestentschwefelungstemperatur jedoch noch nicht erreicht hat. In diesem Fall muss die Katalysatortemperatur nur verhältnismäßig wenig aktiv angehoben werden, um die Entschwefelung einzuleiten, so dass der für diese Heizmaßnahme aufzuwendende Kraftstoffverbrauch relativ gering ist. Im Sinne einer positiven Kosten-Nutzen-Bilanz sollte eine Entschwefelung ohne vorliegende Notwendigkeit jedoch nur durchgeführt werden, wenn die aktuell gespeicherte Schwefelmasse wenigstens 10% der maximal speicherbaren Schwefelmasse beträgt.

**[0010]** Als Maßnahme zur Anhebung der Katalysatortemperatur kommen alle bekannten motorischen Eingriffe in Frage, die entweder eine Verbrennungs- und damit die Abgastemperatur anheben oder einen Anteil unverbrannter Kohlenwasserstoffe im Abgas erhöhen und durch katalytische Nachverbrennung, derselben die Abgas- und/oder Katalysatortemperatur erhöhen. Bekannte Maßnahmen sind eine gezielte Ungleichstellung des motorischen Luft-Kraftstoff-Verhältnisses einzelner Zylinder der Verbrennungskraftmaschine, bei der die Zylinder mit unterschiedlichen Luft-Kraftstoff-Verhältnissen betrieben werden (Lambdaspitzung); eine Zündwinkelspätverstellung; eine Kraftstoffnacheinspritzung vor, während oder nach einem Brennen eines Zylinders und eine Kraftstoffeinspeisung in den Abgaskanal. Die Maßnahmen können auch miteinander kombiniert eingesetzt werden. Es sind ferner direkte, beispielsweise elektrische Katalysatoraufheizverfahren bekannt.

**[0011]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst Mittel zur Durchführung des Verfahrens. Diese umfassen vorzugsweise eine Steuereinheit, in der ein Algorithmus zur Steuerung des Verfahrens in digitaler Form hinterlegt ist. Die Steuereinheit kann vorteilhafterweise in ein Motorsteuergerät integriert sein.

**[0012]** Die Vorteile des Verfahrens kommen insbesondere bei fremdgezündeten, direkteinspritzenden Verbrennungskraftmaschinen zum Tragen. Besonders vorteilhaft sind diese in einem geschichteten Arbeitsmodus betreibbar, in dem besonders mager Luft-Kraftstoff-Verhältnisse und große Anteile von Magerphasen im Gesamtbetrieb bei höherer Leistung erzielbar sind. Derartige Verbrennungskraftmaschinen sind vorzugsweise mit einer im Ansaugkanal angeordneten Ladungsbewegungsklappe ausgestattet, durch deren Stellung zwischen dem Schicht- und dem Homogenmodus umgeschaltet werden kann.

**[0013]** Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

**[0014]** [Fig. 1](#) eine Prinzipdarstellung einer Verbrennungskraftmaschine mit einer Abgasanlage;

**[0015]** [Fig. 2](#) eine Temperaturabhängigkeit der Entschwefelung und

**[0016]** [Fig. 3](#) eine vereinfachte Darstellung eines zeitlichen Verlaufs einer Abgastemperatur vor einem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator nach [Fig. 1](#) während mehrerer Entschwefelungsintervalle.

**[0017]** [Fig. 1](#) zeigt eine Verbrennungskraftmaschine **10**, der eine insgesamt mit **12** bezeichnete Abgasanlage mit einem Abgaskanal **14** zugeordnet ist. Der Abgaskanal **14** beherbergt ein Katalysatorsystem, welches einen kleinvolumigen, motornah angeordneten Vorkatalysator **16**, der insbesondere ein 3-Wege-Katalysator ist, und einen typischerweise an einer Unterbodenposition angeordneten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator **18** umfasst. In dem Abgaskanal **14** ist ferner eine Sensorik angeordnet, mit welcher die Verbrennungskraftmaschine **10** sowie eine Abgasreinigung gesteuert werden. Die Sensorik umfasst eine möglichst motornah angeordnete Lambdasonde **20** zur Regelung eines der Verbrennungskraftmaschine **10** zugeführten Luft-Kraftstoff-Gemisches. Stromab des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators **18** befindet sich ein NO<sub>x</sub>-Sensor **22**, der einen Stickoxidgehalt im Abgas misst und der zur Steuerung der NO<sub>x</sub>-Regenerationsintervalle sowie mittelbar der Steuerung der Entschwefelung des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators **18** dient. In alternativen Ausgestaltungen kann die Funktion des NO<sub>x</sub>-Sensors **22** auch durch eine nachgeschaltete Lambdasonde übernommen oder ergänzt werden. Stromauf des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators **18** ist ferner ein Temperatursensor **24** installiert, der ei-

ne Abgastemperatur misst und somit Rückschlüsse auf eine Temperatur des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators **18** erlaubt. Wegen der am Speicherkatalysator **18** stattfindenden exothermen Reaktionen liegt die Katalysatortemperatur um etwa 10 bis 100 K über der mit dem Temperatursensor **24** gemessenen Abgastemperatur. Die aktuelle Katalysatortemperatur lässt sich besonders genau aus einer Temperaturdifferenz zwischen der Abgastemperatur vor und hinter dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator **18** bestimmen. Die stromab des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators **18** vorliegende Temperatur kann entweder mit einem Temperatursensor ebenfalls direkt gemessen oder aus einem internen Temperatursignal des NO<sub>x</sub>-Sensors **22** erhalten werden. Jedes der von den Sensoren **20**, **22**, **24** bereitgestellten Signale findet Eingang in ein Motorsteuergerät **26**, welches die Signale digitalisiert und weiterverarbeitet. Eine in das Motorsteuergerät **26** integrierte Steuereinheit **28** beinhaltet einen Algorithmus zur Steuerung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Entschwefelung des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators **18**. Das Motorsteuergerät **26** und die Steuereinheit **28** steuern verschiedene Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine **10** in Abhängigkeit der eingehenden Signale. Insbesondere werden die Entschwefelungsintervalle des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators **18** gemäß dem in der Steuereinheit **28** hinterlegten Algorithmus in noch zu erläuternder Weise gesteuert.

**[0018]** Wie bereits eingangs erläutert, werden NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysatoren zum Zwecke ihrer Entschwefelung mit einer hohen Katalysatortemperatur und mit einer fetten, das heißt reduktionsmittelhaltigen Abgasatmosphäre beaufschlagt. Eine Entschwefelungsrate steigt dabei mit höheren Katalysatortemperaturen an. Dieser Zusammenhang ist in [Fig. 2](#) dargestellt, in der ein prozentualer Schwefelaustrag in Abhängigkeit von einer vor einem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator **18** nach [Fig. 1](#) gemessenen Abgastemperatur aufgetragen ist. Die Messpunkte wurden ermittelt, indem ein Abgas mit konstanter Zusammensetzung und konstantem Volumenstrom mittels einer Kühleinrichtung stromauf des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators **18** auf eine konstante Temperatur eingestellt wurde und der akkumulierte prozentuale Schwefelaustrag jeweils drei Minuten lang mittels einer quantitativen massenspektroskopischen Analyse bestimmt wurde. Ein bis drei Minuten entsprechen einer typischen Entschwefelungsdauer. Aus dem Diagramm in [Fig. 2](#) geht hervor, dass der Schwefelaustrag zwischen 500 und 600°C Abgastemperatur vor Katalysator **18** ( $T_{\text{VNSK}}$ ) eine annähernd lineare Temperaturabhängigkeit aufweist. Oberhalb von  $T_{\text{VNSK}} = 600^\circ\text{C}$  flacht die Kurve zunehmend ab und geht oberhalb von  $T_{\text{VNSK}} = 700^\circ\text{C}$  in einen Sättigungsbereich über. Bei  $T_{\text{VNSK}} = 700^\circ\text{C}$  wird innerhalb von drei Minuten ein nahezu 100%iger Schwefelaustrag beobachtet. Der Katalysator sollte nicht mit Abgastemperaturen oberhalb von  $T_{\text{VNSK}} = 700^\circ\text{C}$  beaufschlagt werden, da

ab 850°C Temperatur im Katalysator eine Festkörperreaktion des Speichermaterials mit anderen Komponenten des so genannten Washcoats einsetzt. Die Temperaturdifferenz zwischen Abgas vor sowie im NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator **18** aufgrund der im Katalysator **18** ablaufenden exothermen Reaktionen ist zu berücksichtigen. Bei dem dargestellten Beispiel liegt die Mindestentschwefelungstemperatur, oberhalb derer eine ausreichende Entschwefelungsrate zu verzeichnen ist, bei etwa 600°C vor NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator **18**. Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein Großteil (mindestens 70%) der aktiv eingeleiteten Entschwefelungsintervalle bei Temperaturen unterhalb von 660°C durchgeführt. Dies entspricht einer Temperatur, welche maximal 50 K oberhalb der Temperatur T<sub>70</sub> liegt, bei der innerhalb von drei Minuten höchstens 70% der maximal in den NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator **18** speicherbaren Schwefelmasse ausgetragen werden. Die Temperatur T<sub>70</sub> ist ebenfalls in das Diagramm in [Fig. 2](#) eingetragen. Sie beträgt im vorliegenden Beispiel zirka 610°C. Die erfindungsrelevante Temperatur T<sub>70</sub> lässt sich anhand eines Temperaturprofils gemäß [Fig. 2](#) für jeden beliebigen NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator bestimmen. Applikationsanpassungen sind unter Umständen erforderlich, um Serienstreuungen auszugleichen.

**[0019]** In [Fig. 3](#) ist beispielhaft ein vereinfachter Verlauf einer vor dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator **18** gemessenen Abgastemperatur T<sub>vNSK</sub> über insgesamt acht Entschwefelungsintervalle DE dargestellt. Übersichtshalber wurden die dazwischenliegenden Bereiche des Normalbetriebs, bei denen die Temperatur T unterhalb der Mindestentschwefelungstemperatur T<sub>min</sub> liegt, gestaucht dargestellt. Neben der Mindestentschwefelungstemperatur T<sub>min</sub>, die bei etwa 600°C liegt, ist eine maximale Entschwefelungstemperatur T<sub>max</sub> eingezeichnet, die etwa bei 700°C liegt, sowie die Temperatur T<sub>70</sub> und eine Grenztemperatur T<sub>L,max</sub>, die 50 K oberhalb der Temperatur T<sub>70</sub> liegt. Für einen NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator **18** mit der in [Fig. 2](#) dargestellten Temperaturcharakteristik liegt T<sub>70</sub> bei etwa 610°C und T<sub>L,max</sub> bei etwa 660°C. Ein Niedrigtemperaturbereich T<sub>L</sub> (schraffierter Bereich) erstreckt sich zwischen der Mindestentschwefelungstemperatur T<sub>min</sub> und der Grenztemperatur T<sub>L,max</sub>. Entschwefelungen, die bei einer Abgastemperatur von Speicherkatalysator **18** in diesem Bereich durchgeführt werden, werden im Rahmen dieser Erfindung als Tieftemperaturentschwefelungen DE<sub>L</sub> bezeichnet. Oberhalb von T<sub>L,max</sub> schließt sich der Hochtemperaturbereich T<sub>H</sub> an, wobei Entschwefelungen dieses Bereiches als Hochtemperaturentschwefelungen DE<sub>H</sub> bezeichnet werden. Erfindungsgemäß werden mindestens 70% der aktiv eingeleiteten Entschwefelungsintervalle als Tieftemperaturentschwefelung DE<sub>a,L</sub> durchgeführt. Vorzugsweise wird mindestens jede tausendste, insbesondere jede fünfzigste Entschwefelung als Hochtemperaturentschwefelung DE<sub>H</sub> durchgeführt. Im dargestellten Zeitabschnitt

sind sechs der acht Entschwefelungsintervalle aktiv eingeleitete Tieftemperaturentschwefelungen DE<sub>a,L</sub>. Eine der acht dargestellten Entschwefelungen ist eine so genannte passive Hochtemperaturentschwefelung DE<sub>p,H</sub>, bei welcher die Abgastemperatur die Grenztemperatur T<sub>L,max</sub> ohne aktive Temperaturerhöhungsmaßnahmen spontan überschreitet. Als letzte Entschwefelung wird hier eine so genannte passive Tieftemperaturentschwefelung DE<sub>p,L</sub> dargestellt, die durch Fahren nahe an T<sub>min</sub> erreicht wird, und bei der nur noch in geringem Umfang Aufheizmaßnahmen erforderlich sind. Typischerweise handelt es sich bei passiven Entschwefelungen fast immer um Hochtemperaturentschwefelungen DE<sub>p,H</sub>, die bei Vollastbetrieben auftreten, beispielsweise bei Autobahnfahrten, bei denen eine Fahrzeuggeschwindigkeit längerfristig oberhalb von etwa 110 km/h liegt. In solchen Betriebssituationen muss die Verbrennungskraftmaschine **10** wegen der hohen Lastanforderung in einem homogenen Betrieb mit  $\lambda \leq 1$  betrieben werden, wobei die Abgastemperatur in der Regel spontan die Grenztemperatur T<sub>L,max</sub> überschreitet. Sofern das Fahrzeug genügend häufig im Vollastbereich eingesetzt wird und somit passive Hochtemperaturentschwefelungen DE<sub>p,H</sub> mit einer ausreichenden Häufigkeit auftreten, kann auf aktiv eingeleitete Hochtemperaturentschwefelungen DE<sub>a,H</sub> praktisch vollständig verzichtet werden. In diesem Fall werden alle aktiv eingeleiteten Entschwefelungen – wie im dargestellten Zeitausschnitt – im Tieftemperaturbereich T<sub>L</sub> durchgeführt. Werden im anderen Extremfall nur sehr selten Betriebssituationen erzielt, in denen passive Hochtemperaturentschwefelungen DE<sub>p,H</sub> realisiert werden, müssen gelegentlich aktive Hochtemperaturentschwefelungen DE<sub>a,H</sub> durchgeführt werden – erfindungsgemäß jedoch nicht häufiger als bei maximal 30% aller aktiv eingeleiteten Entschwefelungen.

**[0020]** Die erfindungsgemäßen Maßnahmen zur Entschwefelung von NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysatoren stellen eine optimierte Vorgehensweise dar, um die Entschwefelung einerseits katalysatorschonend und verbrauchsarm und andererseits mit einer ausreichenden Gründlichkeit durchzuführen. Das Verfahren berücksichtigt zudem einen fahrerspezifischen Einsatz des Fahrzeuges und lässt sich ohne weiteren instrumentellen Aufwand realisieren.

#### Bezugszeichenliste

<b>10</b>	Verbrennungskraftmaschine
<b>12</b>	Abgasanlage
<b>14</b>	Abgaskanal
<b>16</b>	Vorkatalysator
<b>18</b>	NO <sub>x</sub> -Speicherkatalysator
<b>20</b>	Lambdasonde
<b>22</b>	NO <sub>x</sub> -Sensor
<b>24</b>	Temperatursensor
<b>26</b>	Motorsteuergerät
<b>28</b>	Steuereinheit

$DE_a$	Entschwefelungen mit aktiver Temperaturanhebung
$DE_p$	passive Entschwefelungen ohne aktive Temperaturanhebung
$DE_L$	Tieftemperaturentschwefelung
$DE_H$	Hochtemperaturentschwefelung
$T_{vNSK}$	Abgastemperatur vor $NO_x$ -Speicherkatalysator
$T_{70}$	Abgastemperatur vor $NO_x$ -Speicherkatalysator, bei der innerhalb von drei Minuten höchstens 70% der speicherbaren Schwefelmasse ausgetragen wird
$T_{L,max}$	Grenztemperatur
$T_H$	hohe Entschwefelungstemperatur
$T_L$	niedrige Entschwefelungstemperatur
$T_{max}$	maximale Entschwefelungstemperatur
$T_{min}$	Mindestentschwefelungstemperatur

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Entschwefelung eines in einem Abgaskanal einer magerlaufrfähigen Verbrennungskraftmaschine angeordneten  $NO_x$ -Speicherkatalysators, wobei der  $NO_x$ -Speicherkatalysator in wiederkehrenden Intervallen mit einer fetten Abgasatmosphäre mit einem Luft-Kraftstoff-Verhältnis  $\lambda < 1$  und einer variablen Entschwefelungstemperatur beaufschlagt wird, die größer oder gleich einer Mindestentschwefelungstemperatur ( $T_{min}$ ) ist, wobei

- mindestens 70% derjenigen Entschwefelungsintervalle ( $DE_a$ ), die durch aktive Maßnahmen zur Anhebung der Katalysatortemperatur eingeleitet werden, als Tieftemperaturentschwefelung ( $DE_{a,L}$ ) bei einer ersten Abgastemperatur ( $T_L$ ) stromauf des  $NO_x$ -Speicherkatalysators (**18**) durchgeführt werden, die kleiner oder gleich einer Grenztemperatur ( $T_{L,max}$ ) von etwa 660°C ist, wobei bei einer Temperatur ( $T_{70}$ ) von etwa 610°C innerhalb von drei Minuten höchstens 70% einer maximal in den  $NO_x$ -Speicherkatalysator (**18**) speicherbaren Schwefelmasse ausgetragen werden, und
- mindestens 0,1% aller Entschwefelungsintervalle ( $DE_a$ ,  $DE_p$ ) als Hochtemperaturentschwefelung ( $DE_H$ ) bei einer zweiten Entschwefelungstemperatur ( $T_H$ ) durchgeführt werden, die oberhalb der Grenztemperatur ( $T_{L,max}$ ) von 660°C liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens 2% aller Entschwefelungsintervalle ( $DE_a$ ,  $DE_p$ ) als Hochtemperaturentschwefelung ( $DE_H$ ) bei einer zweiten Entschwefelungstemperatur ( $T_H$ ) durchgeführt werden, die oberhalb der Grenztemperatur ( $T_{L,max}$ ) von 660°C liegt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass Entschwefelungsparameter, insbesondere eine Entschwefelungsdauer und/oder

das Luft-Kraftstoff-Verhältnis der Hochtemperaturentschwefelung ( $DE_H$ ) derart gewählt werden, dass mindestens 90%, insbesondere mindestens 95%, des maximal in den  $NO_x$ -Speicherkatalysator (**18**) speicherbaren Schwefels entfernt werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Notwendigkeit für eine aktiv eingeleitete Entschwefelung ( $DE_a$ ) in Abhängigkeit eines berechneten Schwefeleintrages in den  $NO_x$ -Speicherkatalysator (**18**) und/oder in Abhängigkeit einer aktuellen  $NO_x$ -Speicheraktivität des  $NO_x$ -Speicherkatalysators (**18**) ermittelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Berechnung des Schwefeleintrages in den  $NO_x$ -Speicherkatalysator (**18**) in Abhängigkeit von einer eingespritzten Kraftstoffmasse, eines Schwefelanteils im Kraftstoff und/oder einer modellierten oder gemessenen Katalysatortemperatur erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine Entschwefelung ( $DE_a$ ) eingeleitet wird, ohne dass eine Entschwefelungsnotwendigkeit erkannt wird, wenn die Abgastemperatur eine vorgegebene Temperaturschwelle, die kleiner als die Mindestentschwefelungstemperatur ( $T_{min}$ ) ist, überschreitet.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine Entschwefelung ( $DE_a$ ) ohne Vorliegen einer Entschwefelungsnotwendigkeit nur eingeleitet wird, wenn die aktuell gespeicherte Schwefelmasse mindestens 10% der maximal in den  $NO_x$ -Speicherkatalysator (**18**) speicherbaren Schwefelmasse beträgt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die aktiven Maßnahmen zur Anhebung der Katalysatortemperatur eine gezielte Ungleichstellung des motorischen Luft-Kraftstoff-Verhältnisses einzelner Zylinder der Verbrennungskraftmaschine (**10**); eine Zündwinkelspätverstellung; eine Kraftstoffnacheinspritzung vor, während oder nach einem Brennende und/oder eine Kraftstoffeinspeisung in den Abgaskanal (**14**) umfassen.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgastemperatur mittels eines stromauf des  $NO_x$ -Speicherkatalysators (**18**) angeordneten Temperatursensors (**20**) gemessen oder durch geeignete Algorithmen modelliert wird.

10. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens zur Entschwefelung eines in einem Abgaskanal einer magerlaufrfähigen Verbrennungskraftmaschine ange-

ordneten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators, wobei der NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator in wiederkehrenden Intervallen mit einer fetten Abgasatmosphäre mit  $\lambda$  kleiner eins und einer variablen Entschwefelungstemperatur beaufschlagt wird, die größer oder gleich einer Mindestentschwefelungstemperatur ( $T_{\min}$ ) ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Mittel umfasst, die zur Steuerung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 eingerichtet sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel eine Steuereinheit (**24**) umfassen, in der ein Algorithmus zur Steuerung des Verfahrens in digitaler Form hinterlegt ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (**24**) in ein Motorsteuergerät (**26**) integriert ist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbrennungskraftmaschine (**10**) eine direkteinspritzende und/oder eine magerlauffähige, fremdgezündete Verbrennungskraftmaschine ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbrennungskraftmaschine (**10**) zumindest zeitweise in einem mageren Schichtlademodus betreibbar ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

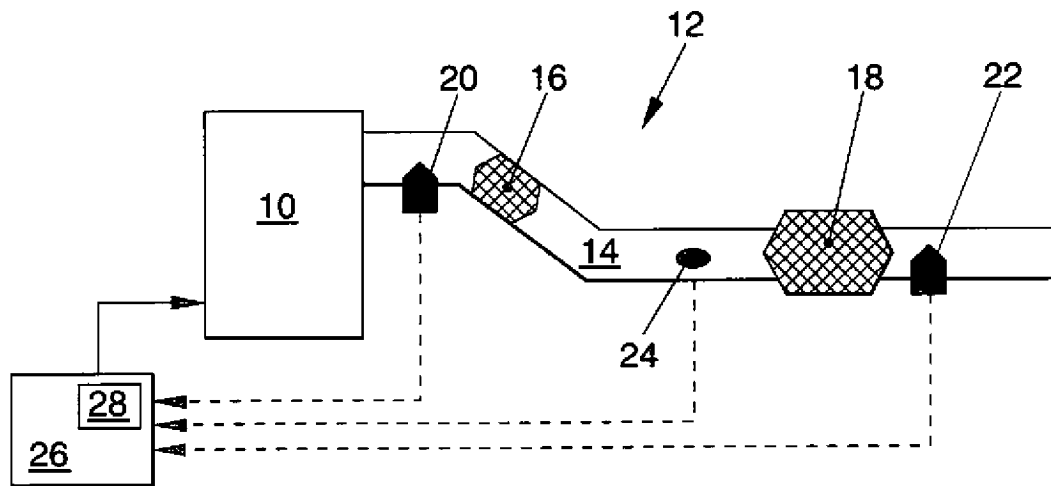


FIG. 1

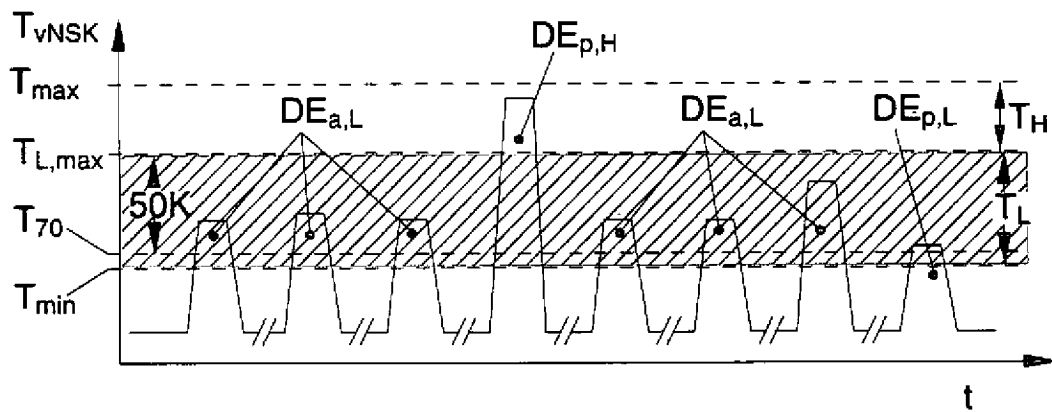


FIG. 3



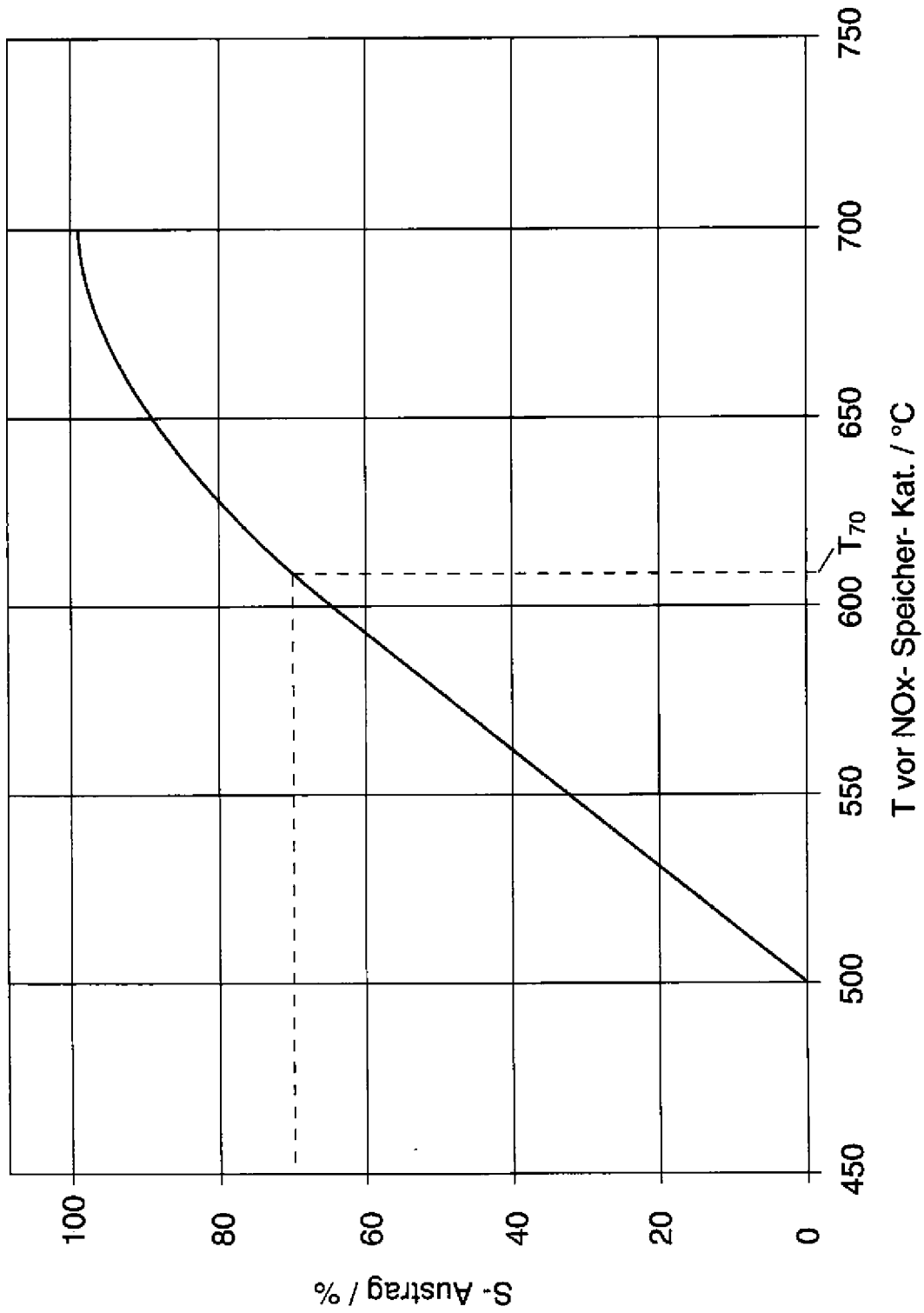


FIG. 2