

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. Juni 2001 (21.06.2001)

PCT

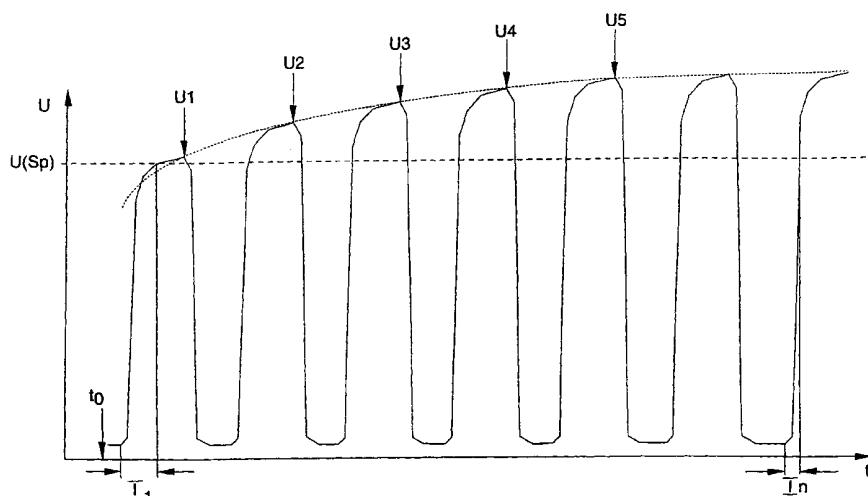
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/44630 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **F01N 3/00**
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/12210
- (22) Internationales Anmeldedatum:
5. Dezember 2000 (05.12.2000)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
199 61 165.3 17. Dezember 1999 (17.12.1999) DE
- (71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): **VOLKSWAGEN AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; 38436 Wolfsburg (DE). **DMC?2; DEGUSSA METALS CATALYSTS CERDEC AG** [DE/DE]; 63457 Hanau-Wolfgang (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): **POTT, Ekkehard** [DE/DE]; Westring 33, 38518 Gifhorn (DE). **HAHN, Hermann** [DE/DE]; Gebr.-Grimm-Str. 37, 38165 Lehre (DE). **HÖHNE, Jürgen** [DE/DE]; Fürstenbergstr. 2, 63457 Hanau (DE). **GÖBEL, Ulrich** [DE/DE]; Rathausstraße 14, 65795 Hattersheim (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **VOLKSWAGEN AKTIENGESELLSCHAFT**; Brieffach 1770, 38436 Wolfsburg (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CN, CR, CU, CZ, DM, DZ, EE, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, RO, RU, SD, SG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR DESULPHURISATION OF AN NO_x ACCUMULATOR-CATALYST ARRANGED IN AN EXHAUST SYSTEM OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ENTSCHEFELUNG EINES IN EINEM ABGASKANAL EINER VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINE ANGEORDNETEN NO_x-SPEICHERKATALYSATORS



WO 01/44630 A2

(57) Abstract: The invention relates to a method for the desulphurisation of an NO_x accumulator-catalyst, arranged in an exhaust system of an internal combustion engine, whereby the internal combustion engine is alternately operated in a weak mode with $\lambda > 1$ and a rich mode with $\lambda < 1$, for desulphurisation. According to the invention, the progress of the desulphurisation is monitored, by means of a change in a parameter relating to intervals (L_n), during the desulphurisation process, whereby the interval (L_n) lasts from a beginning of an nth rich operating phase ($T_{f,n}$), until the measured value drops below a preset lambda threshold value (S_f) downstream of the NO_x accumulator-catalyst (16). Furthermore, the progress of the desulphurisation is monitored by a change in a lambda probe voltage (U_n) downstream of the NO_x accumulator-catalyst (16), which is determined at the end of a preset interval after the beginning of an nth rich operating phase ($T_{f,n}$).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN,
YU, ZA, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

- Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft Verfahren zur Entschwefelung eines in einem Abgaskanal einer Verbrennungskraftmaschine angeordneten NO_x-Speicherkatalysators, wobei die Verbrennungskraftmaschine für die Entschwefelung alternierend in einem mageren Betriebsmodus mit $\lambda > 1$ und einem fetten Betriebsmodus mit $\lambda < 1$ betrieben wird. Es ist vorgesehen, daß der Fortschritt der Entschwefelung anhand eines Verlaufs einer Größe von Intervallen (I_n) während des Entschwefelungsprozesses überwacht wird, wobei das Intervall (I_n) von einem Beginn einer n-ten fetten Betriebsphase ($T_{f,n}$) bis zu einem Unterschreiten eines vorgebbaren Lambdaschwellenwertes (S_r) stromab des NO_x-Speicherkatalysators (16) dauert. Es ist ferner vorgesehen, daß der Fortschritt der Entschwefelung anhand eines Verlaufes einer Lambdasondenspannung (U_n) stromab des NO_x-Speicherkatalysators (16), welche nach einem vorgebbaren Intervall nach Beginn einer n-ten fetten Betriebsphase ($T_{f,n}$) ermittelt wird, überwacht wird.

**Verfahren zur Entschwefelung eines in einem Abgaskanal einer
Verbrennungskraftmaschine angeordneten NO_x-Speicherkatalysators**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Entschwefelung eines in einem Abgaskanal einer Verbrennungskraftmaschine angeordneten NO_x-Speicherkatalysators.

Es ist bekannt, zur Reinigung von Abgasen von Verbrennungskraftmaschinen Katalysatoren, insbesondere NO_x-Speicherkatalysatoren, einzusetzen. Dabei wird die Verbrennungskraftmaschine bevorzugt in einem Magermodus betrieben, in welchem der Lambdawert größer als 1 ist, das heißt ein Sauerstoffüberschuß bezüglich der Kraftstoffmenge im Luft-Kraftstoff-Gemisch vorliegt. In diesem Betriebsmodus fallen umweltschädliche Abgasbestandteile, wie Kohlenmonoxid CO und unvollständig verbrannte Kohlenwasserstoffe HC, in verhältnismäßig geringem Anteil an und können dank dem Sauerstoffüberschuß vollständig in weniger umweltrelevante Verbindungen umgewandelt werden. Auf der anderen Seite können die im Magermodus verhältnismäßig stark anfallenden Stickoxide NO_x nicht vollständig reduziert werden und werden im NO_x-Speicherkatalysator als Nitrate eingelagert. Eine Regeneration des NO_x-Absorbers erfolgt in regelmäßigen Intervallen, in denen die Verbrennungskraftmaschine in einem Fettmodus mit $\lambda \leq 1$ betrieben, und die Reduktionsmittel CO, HC und H₂ in ausreichendem Ausmaße gebildet werden, so daß die eingelagerten Stickoxide quantitativ zu Stickstoff umgesetzt werden können. Die Freisetzung der Stickoxide aus dem NO_x-Speicherkatalysator wird im Fettmodus durch erhöhte Temperaturen am Katalysator unterstützt.

Neben der beschriebenen NO_x-Einlagerung kommt es im Magermodus auch zu einer unerwünschten SO_x-Einlagerung im NO_x-Absorber in Form von Sulfaten. Die SO_x-Absorption führt zu einer Reduzierung der Speicherkapazität des Absorbers und der katalytisch aktiven Oberfläche des Katalysators. Darüber hinaus kann eine Sulfatkornbildung auch korrosive Prozesse an der Katalysatoroberfläche verursachen und eine nichtreversible Schädigung des NO_x-Speicherkatalysators nach sich ziehen.

Es ist bekannt, in periodischen Abständen Entschwefelungsprozesse durchzuführen, die eine Beaufschlagung des NO_x-Speicherkatalysators mit fettem Abgas, das heißt

- 2 -

$\lambda \leq 1$, und eine Einstellung einer Mindesttemperatur von etwa 600 °C, welche die NO_x-Desorptionstemperatur übersteigt, einschließt.

Gemäß der DE 198 358 08 wird die Entschwefelung vorzugsweise nicht in konstantem Fettbetrieb der Verbrennungskraftmaschine bei einem fetten Lambdawert durchgeführt, sondern mit einer alternierenden Beaufschlagung des NO_x-Speicherkatalysators mit fettem und magerem Abgas. Auf diese Weise kann die Freisetzung von giftigem und unangenehm riechendem Schwefelwasserstoff H₂S, dessen Entstehung gegenüber der erwünschten Schwefeldioxidbildung SO₂ kinetisch gehemmt ist, nahezu vollständig unterdrückt werden.

Eine Detektion einer Entschwefelungsnotwendigkeit wird anhand einer nachlassenden NO_x-Speicheraktivität beziehungsweise eines NO_x-Durchbruches im mageren Abgas beispielsweise mittels NO_x-Sensoren erfaßt. Dabei wird ein Einbruch in der NO_x-Speicheraktivität erkannt, indem der gemessene NO_x-Durchsatz mit einer gemessenen oder modellierten NO_x-Durchsatzcharakteristik eines regenerierten NO_x-Speicherkatalysators verglichen wird. Mangels geeigneter Schwefelsensoren kann derzeit nur anhand einer einbrechenden NO_x-Aktivität auf eine Schwefelvergiftung geschlossen werden und nicht auf der Basis einer direkten Schwefelmessung.

Ebenso, wie die Feststellung einer Entschwefelungsnotwendigkeit, kann auch der Erfolg eines Entschwefelungsprozesses nur anhand von NO_x-Konzentrationen vor und hinter dem Katalysator detektiert werden, indem lediglich ein Wiedergewinn der NO_x-Aktivität erfaßt wird. Auch hier wird auf eine verbliebene Restschwefelmenge geschlossen, indem der gemessene NO_x-Durchsatz mit dem Zustand eines regenerierten NO_x-Speicherkatalysators verglichen wird. Nachteilig an dieser Methode ist, daß keine Verlaufskontrolle während der Entschwefelung selbst möglich ist, sondern ihr Erfolg erst nach beendigter Entschwefelung beurteilt werden kann. Da hierfür der NO_x-Speicherkatalysator zunächst wieder auf die Arbeitstemperatur von zirka 200 °C bis 500 °C gekühlt werden muß und bei mangelndem Entschwefelungserfolg gegebenenfalls erneut auf die Entschwefelungstemperatur von über 600 °C aufgeheizt werden muß, ist mit dieser Methode ein erhöhter Kraftstoffverbrauch verbunden. Andererseits können übermäßig lange Entschwefelungsvorgänge thermische Schädigungen des NO_x-Speicherkatalysators hervorrufen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Entschwefelung eines in einem Abgaskanal einer Verbrennungskraftmaschine angeordneten NO_x-

- 3 -

Speicherkatalysators der gattungsgemäßen Art bereitzustellen, das die analoge Überwachung des Fortschrittes der Entschwefelung während des Entschwefelungsprozesses erlaubt. Dabei soll einerseits die H₂S-Bildung unterdrückt werden und andererseits die Entschwefelungsdauer mit dem tatsächlichen Beladungszustand des NO_x-Speicherkatalysators abgestimmt werden, so daß der Kraftstoffverbrauch geringgehalten wird und eine exzessive thermische Schädigung des NO_x-Speicherkatalysators vermieden werden kann.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zur Entschwefelung mit den in den unabhängigen Ansprüchen 1 und 9 genannten Merkmalen gelöst. Es wurde gefunden, daß aufgrund der im Verlauf der Entschwefelung abnehmenden Menge eingelagerten Sulfates zunehmend geringere Reduktionsmittelmengen während der fetten Betriebsphasen verbraucht werden. Damit verbunden werden stetig kürzer werdende Intervalle beobachtet, in denen eine nennenswerte Sulfatreduktion stattfindet. Dadurch wird erfindungsgemäß eine Überwachung des Fortschrittes der Entschwefelung anhand eines Verlaufes einer Größe von Intervallen während des Entschwefelungsprozesses möglich, wobei das Intervall von einem Beginn einer fetten Betriebsphase bis zu einem Unterschreiten eines vorgebbaren Lambdaschwellenwertes stromab des NO_x-Speicherkatalysators dauert. Der Schwellenwert wird hierfür kleiner als 1 und größer als ein vorgegebener Lambdawert vor dem NO_x-Speicherkatalysator gewählt.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, den Beginn einer fetten Betriebsphase durch das Unterschreiten des vorgebbaren Lambdaschwellenwertes vor dem NO_x-Speicherkatalysator zu definieren.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, eine Differenz eines n-ten Intervalls und eines vorausgegangenen (n-i)-ten Intervalls zu berechnen, wobei i eine ganze positive Zahl bedeutet. Bei einer mindestens einmaligen Unterschreitung eines vorgebbaren Differenzgrenzwertes durch die Differenz wird die Entschwefelung beendet. Es ist hierbei besonders bevorzugt, eine Differenz des n-ten Intervalls und eines unmittelbar vorausgegangenen (n-1)-ten Intervalls zu berechnen.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, daß die Größe eines Intervalls seiner zeitlichen Länge entspricht. Ein n-tes Intervall kann somit durch eine Zeitmessung seines Beginns und Endes erfaßt werden. In einer alternativen

- 4 -

Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß eine während der Dauer eines Intervalls durch den NO_x-Speicherkatalysator durchgesetzte Abgasmasse die Größe des Intervalls bestimmt. Diese kann beispielsweise mittels eines an sich bekannten Luftmassenmessers ermittelt werden. Eine noch höhere Genauigkeit kann gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung erzielt werden, indem die Größe eines Intervalls anhand einer während der Dauer des Intervalls den NO_x-Katalysator durchgesetzten Reduktionsmittelmasse erfaßt wird. Die durchgesetzte Reduktionsmittelmasse kann in bekannter Weise aus der gemessenen durchgesetzten Abgasmasse und dem vor dem NO_x-Speicherkatalysator vorliegenden Lambdawert berechnet werden.

Gemäß einem weiteren erfindungsgemäßen Verfahren kann der Fortschritt des Entschwefelungsprozesses ebenso anhand eines zeitlichen Verlaufs einer Lambdasondenspannung stromab des NO_x-Speicherkatalysators, welche nach einem vorgebbaren Intervall nach Beginn einer n-ten fetten Betriebsphase ermittelt wird, überwacht werden, da bei Verwendung üblicher Sprungantwort-Lambdasonden und konstanten fetten Betriebsphasen die hinter dem NO_x-Speicherkatalysator gemessene Lambdasondenspannung mit fortschreitender Entschwefelung stetig höhere Werte annimmt. Dies ist wiederum auf die abnehmende Menge eingelagerten Sulfates zurückzuführen, die ein immer früher einsetzendes Abfallen des Lambdawertes hinter dem NO_x-Speicherkatalysator während einer fetten Betriebsphase bedingt.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Verlauf der Entschwefelung begutachtet, indem die Lambdasondenspannung hinter dem NO_x-Speicherkatalysator nach einer vorgebbaren Zeitspanne nach Beginn jeder fetten Betriebsphase gemessen und ihr Verlauf über die Dauer der Entschwefelung verfolgt wird.

In weiteren alternativen Ausführungsformen wird die Lambdasondenspannung nach einer vorgebbaren durchgesetzten Reduktionsmittelmasse oder Abgasmasse nach Beginn jeder fetten Betriebsphase gemessen und ihr Verlauf verfolgt.

Es ist ferner sehr bevorzugt, daß das vorgebbare Intervall, unabhängig ob dieses einer Zeitspanne, einer Abgasmasse oder einer Reduktionsmittelmasse entspricht, mit der Länge der fetten Betriebsphasen übereinstimmt. Gemäß dieser Ausgestaltung wird die maximale Lambdasondenspannung hinter dem NO_x-Speicherkatalysator am Ende jeder fetten Betriebsphase ermittelt.

- 5 -

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

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

Figur 1 eine Anordnung eines Katalysatorsystems in einem Abgaskanal einer Verbrennungskraftmaschine;

Figur 2 einen Verlauf eines vor und hinter einem NO_x-Speicherkatalysator gemessenen Lambdawertes während einer Entschwefelung;

Figur 3 einen Verlauf der Zeitintervalle in Abhängigkeit von der Anzahl der fetten Betriebsintervalle;

Figur 4 einen Verlauf eines vor und hinter einem NO_x-Speicherkatalysator gemessenen Lambdawertes während einer dynamisch gesteuerten Entschwefelung und

Figur 5 einen Verlauf einer Lambdasondenspannung hinter dem NO_x-Speicherkatalysator während einer Entschwefelung.

In der Figur 1 ist eine Anordnung eines Katalysatorsystems 10 in einem Abgaskanal 12 einer Verbrennungskraftmaschine 14 schematisch dargestellt. Das Katalysatorsystem 10 umfaßt einen NO_x-Speicherkatalysator 16, einen Vorkatalysator 18 sowie verschiedene Temperatursensoren 22. Ferner sind Gassensoren 19, 20, 21 an verschiedenen Positionen des Abgaskanals 12 angeordnet. Diese Gassensoren dienen der Detektionen von mindestens einer Gaskomponente eines Abgases der Verbrennungskraftmaschine 14 und stellen entsprechend dem Gehalt der gemessenen Gaskomponente ein Signal an das Motorsteuergerät 24 bereit. Derartige Gassensoren 19, 20, 21 sind bekannt und können beispielsweise Lambdasonden oder NO_x-Sensoren sein.

Alle von den Temperatursensoren 22 und den Gassensoren 19, 20, 21 bereitgestellten Signale werden an ein Motorsteuergerät 24 weitergeleitet. In Reaktion auf die gemessenen Gaswerte kann ein Arbeitsmodus der Verbrennungskraftmaschine 14

- 6 -

durch das Motorsteuergerät 24 geregelt werden. Ist beispielsweise ein Arbeitsmodus mit $\lambda < 1$, das heißt eine fette Atmosphäre, erforderlich, so wird eine Sauerstoffkonzentration in einem Saugrohr 26 stromaufwärts der Verbrennungskraftmaschine 14 gesenkt, indem das Motorsteuergerät 24 beispielsweise einen Volumenstrom angesaugter Luft mittels einer Drosselklappe 28 reduziert und/oder sauerstoffarmes Abgas über ein Abgasrückflußventil 30 in das Saugrohr 26 zurückführt. Auf diese Weise erhöhen sich die Anteile reduzierender Gaskomponenten CO, HC, H₂ im Abgas relativ zu einem Anteil an Sauerstoff.

Um dagegen einen Arbeitsmodus mit $\lambda > 1$ einzustellen, also eine magere Atmosphäre, wird die Drosselklappe 28 geöffnet. Unter diesen Bedingungen, in denen ein Unterschuß reduzierender Gaskomponenten im Abgas herrscht, können diese nahezu vollständig im Vorkatalysator 18 umgesetzt, das heißt oxidiert, werden. Hingegen werden im Überschuß vorhandener Stickoxide NO_x, aber auch SO₂ im NO_x-Speicherkatalysator 16 absorbiert. In wiederkehrenden Abständen wird in Abhängigkeit einer NO_x-Speicherkapazität der Katalysator mit einem fetten Abgas beaufschlagt, um ihn zu regenerieren. Dabei wird das zuvor absorbierte NO_x an einer katalytisch aktiven Oberfläche des NO_x-Speicherkatalysators 16 reduziert. Gleichzeitig in Form von Sulfat in den NO_x-Speicherkatalysator 16 eingelagertes SO₂ wird bei diesem Regenerierungsprozeß jedoch nicht entfernt, da die Reversibilität der SO₂-Einlagerung im Gegensatz zu der Einlagerung von NO_x wesentlich höhere Temperaturen erfordert.

Eine Entschwefelungsnotwendigkeit kann beispielsweise anhand einer NO_x-Speicheraktivität des NO_x-Speicherkatalysators 16 festgestellt werden. Eine NO_x-Durchbruchcharakteristik kann mittels eines Gassensors 21 erfaßt werden, der eine NO_x-Konzentration hinter dem NO_x-Speicherkatalysator 16 detektiert. Durch Abgleich dieses Wertes mit theoretischen oder empirischen Modellen oder mit einer vor dem NO_x-Speicherkatalysator 16 vorliegenden NO_x-Konzentration, die beispielsweise mit mindestens einem der Gassensoren 19 oder 20 erfaßt werden kann, kann auf eine Schwefelbeladung des NO_x-Speicherkatalysators 16 geschlossen werden. Liegt eine sogenannte Schwefelvergiftung des NO_x-Speicherkatalysators 16 vor, so wird dieser zunächst auf eine Temperatur gebracht, die einer Mindestentschwefelungstemperatur entspricht oder diese übersteigt. Die aktuelle Temperatur am NO_x-Speicherkatalysator 16 lässt sich beispielsweise über die Temperatursensoren 22 erfassen.

Figur 2 zeigt beispielhaft einen vereinfachten Verlauf eines Lambdawertes vor und hinter dem NO_x-Speicherkatalysator 16 während einer Entschwefelungsprozedur.

- 7 -

Hierin stellt die durchgezogene Linie den vorgebbaren Verlauf des Lambdawertes vor dem NO_x-Speicherkatalysator 16 dar, der mittels des Gassensors 20 erfaßt werden kann. Die gestrichelte Linie gibt dagegen den Verlauf des mit dem Gassensor 21 hinter dem NO_x-Speicherkatalysator 16 gemessenen Lambdawertes wieder. Nach Feststellung einer Entschwefelungsnotwendigkeit zum Zeitpunkt t₀ wird zunächst in einer Aufheizphase T_{Heiz} der NO_x-Speicherkatalysator 16 auf die notwendige Entschwefelungstemperatur eingestellt. Dies geschieht in bekannter Weise, indem beispielsweise mindestens ein Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 14 beeinflußt wird, um die Abgastemperatur zu erhöhen.

Sobald die Mindesttemperatur zum Zeitpunkt t₁ erreicht wird, wird die Verbrennungskraftmaschine 14 mit Hilfe des Motorsteuergerätes 24 derart geregelt, daß sich vor dem NO_x-Speicherkatalysator 16 ein vorgebbarer Lambdawert V_m, der größer als 1 ist, über die Dauer einer ersten Magerphase T_{m,1} einstellt. Bedingt durch ein Totvolumen des NO_x-Speicherkatalysators 16 und eine Sauerstoffeinlagerung in diesen wird ein Anstieg des Lambdawertes hinter dem NO_x-Speicherkatalysator 16 zeitverzögert beobachtet. In einem Bereich 40 steigt dann der Lambdawert hinter dem NO_x-Speicherkatalysator 16 an, wobei die Steilheit des Anstieges um so größer ist, je höher die Lambdavorgabe V_m ist. An einem Zeitpunkt t₂ erfolgt ein Wechsel von dem mageren in den einen fetten Betriebsmodus, woraufhin das Motorsteuergerät 24 die Verbrennungskraftmaschine 14 auf einen fetten Arbeitsmodus umstellt, so daß sich über eine erste Fettphase T_{f,1} ein Lambdawert < 1 vor dem NO_x-Speicherkatalysator 16 entsprechend der Vorgabe V_f einstellt. Abhängig vom Totvolumen des NO_x-Speicherkatalysators 16 steigt der Lambdawert hinter dem NO_x-Speicherkatalysator 16 nach Wechsel in den fetten Betriebsmodus in einem Bereich 42 noch kurzfristig an, um dann in einem Bereich 44 steil auf einen Lambdawert = 1 abzufallen. Der Lambdawert verharrt so lange bei einem Wert = 1, bis der im NO_x-Speicherkatalysator 16 eingelagerte Sauerstoff, das gespeicherte Sulfat und eventuell noch vorhandenes Nitrat mit den in der fetten Betriebsphase im Überschuß vorhandenen Reduktionsmitteln soweit umgesetzt sind, bis er im Bereich 48 auf einen Wert < 1 abzudriften beginnt. Zum Zeitpunkt t₃ wird wiederum ein Wechsel des Betriebsmodus der Verbrennungskraftmaschine 14 eingeleitet, wodurch die zweite magere Betriebsphase T_{m,2} beginnt. Eine Reaktion des Lambdawertes nach dem NO_x-Speicherkatalysator 16 auf die veränderten Betriebsbedingungen setzt volumenbedingt wiederum verzögert ein, so daß kurz nach Beginn der zweiten Magerphase T_{m,2} ein Minimum durchlaufen wird, das unterhalb des Schwellenwertes S_f liegt. Es folgt ein Anstieg des Lambdawertes im Bereich 50, dessen Steilheit nicht nur von der Lage der Lambdavorgabe V_m abhängt,

- 8 -

sondern auch von einer in dieser Phase erfolgenden Sauerstoffeinlagerung in den NO_x-Speicherkatalysator 16. Nach Ausschöpfung der Sauerstoffeinlagerungskapazität wird im Bereich 40' ein steiler Anstieg des Lambdawertes beobachtet, wobei in diesem Bereich die Steilheit ausschließlich von der Lage der Lambdavorgabe V_m bestimmt wird. Nach Initiierung der zweiten Fettphase T_{f,2} erfolgt wieder, nach einer zeitlichen Verzögerung (Bereich 42'), ein rascher Lambdaabfall nach dem NO_x-Speicherkatalysator 16 im Bereich 44', der von einer Phase 46' gefolgt wird, in welcher der Lambdawert bei $\lambda = 1$ verharrt.

Aufgrund der im Vergleich zur ersten Fettphase T_{f,1} geringeren Menge eingelagerten Sulfates ist die Dauer der Phase 46', in welcher die Reduktionsmittel vollständig umgesetzt werden, im Vergleich zur Phase 46 reduziert. Infolgedessen wird das Einsetzen eines Lambdaabfalls in der Phase 48' in Richtung der Lambdafettvorgabe V_f zu einem früheren Zeitpunkt nach Beginn der Fettphase beobachtet als in der ersten Fettphase T_{f,1}. Dieser Trend setzt sich in den folgenden Fettphasen fort. So ist ein in der dritten Fettphase T_{f,3} beobachteter Bereich 46'' gegenüber dem Bereich 46' noch weiter verkürzt und ein Abfallen des Lambdawertes unterhalb 1 im Bereich 48'' wird noch früher beobachtet.

Erfindungsgemäß ist es nun möglich, den Fortschritt der Entschwefelung zu verfolgen, indem die Länge eines Zeitintervalls I_n, welches sich von Beginn einer fetten Betriebsphase bis zu einem Unterschreiten eines vorgebbaren Lambdaschwellenwertes S_f stromab des NO_x-Speicherkatalysators 16 erstreckt, für jede fette Betriebsphase ermittelt wird und über den Verlauf der Entschwefelung verfolgt wird. Die Zeitpunkte, an denen der Lambdawert hinter dem NO_x-Speicherkatalysator 16 den Lambdaschwellenwert S_f erreicht beziehungsweise unterschreitet, sind in der Grafik mit den Bezugszeichen E₁, E₂ und E₃ gekennzeichnet. Um einen einheitlichen Beginn einer fetten Betriebsphase T_{f,n} zu gewährleisten, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, ein Unterschreiten des Lambdaschwellenwertes S_f vor dem NO_x-Speicherkatalysator 16 an den Punkten A₁, A₂, A₃ als Beginn der fetten Betriebsphase zu definieren. Somit kann auch ein weniger idealer Verlauf des Lambdawertes vor dem NO_x-Speicherkatalysator 16 berücksichtigt werden.

Figur 3 stellt den Verlauf der in der beschriebenen Weise ermittelten Zeitintervalle I_n in Abhängigkeit von der Anzahl n der fetten Betriebsintervalle dar. Während am Anfang der Entschwefelungsprozedur die Zeitintervalle I_n noch sehr lang sind, so nehmen sie im folgenden Verlauf zunächst rasch ab, um sich später einem Grenzwert zu nähern.

- 9 -

Ein sich praktisch nicht mehr änderndes Intervall I_n zeigt an, daß die Entschwefelung im wesentlichen vollständig verlaufen ist. Erfindungsgemäß erfolgt eine Verlaufskontrolle der Entschwefelungsprozedur, indem beispielsweise die Differenz eines Zeitintervalls I_n und eines vorausgegangenen Zeitintervalls I_{n-i} berechnet wird. Vorzugsweise wird die Differenz eines Zeitintervalls I_n und eines unmittelbar vorausgegangenen Zeitintervalls I_{n-1} bestimmt. In Figur 3 sind beispielhaft die Intervalldifferenzen zwischen der ersten und der zweiten fetten Betriebsphase $\Delta I_{2,1}$ und der vierten und fünften fetten Betriebsphase $\Delta I_{5,4}$ dargestellt. Die Größe der Intervalldifferenzen $\Delta I_{n,n-1}$ nimmt im Verlaufe der Entschwefelungsprozedur rasch ab. Erfindungsgemäß ist nun ein Abbruchskriterium für die Entschwefelung dadurch gegeben, daß eine aktuell ermittelte Intervalldifferenz $\Delta I_{n,n-1}$ einen vorgebbaren Differenzgrenzwert ΔI_G unterschreitet. Um das Verfahren gegenüber Betriebsschwankungen zuverlässiger zu gestalten, kann auch ein mehrmaliges Unterschreiten des vorgebbaren Differenzgrenzwertes ΔI_G , beispielsweise ein zweimaliges Unterschreiten, als Abbruchskriterium für die Entschwefelung gewählt werden.

Praktisch kann die Ermittlung eines Zeitintervalls I_n beispielsweise dadurch erfolgen, daß die Zeitpunkte seines Beginns und seines Endes direkt erfaßt werden. Dies geschieht etwa, indem die Sonde 20 vor dem NO_x-Speicherkatalysator 16 die aktuellen Lambdawerte an das Motorsteuergerät 24 weiterleitet. Der Zeitpunkt, an dem der Schwellenwert S_f von dem Lambdawert vor dem NO_x-Speicherkatalysator 16 unterschritten wird, wird von dem Motorsteuergerät 24 erkannt und als Anfang eines Intervalls I_n registriert. Der Zeitpunkt, an dem auch hinter dem NO_x-Speicherkatalysator 16 der von der Gassonde 21 gemessene Lambdawert den Schwellenwert S_f erreicht, wird von dem Motorsteuergerät 24 als Endpunkt eines Intervalls I_n erkannt. Das Motorsteuergerät 24 berechnet daraufhin die Länge des Intervalls I_n , die Differenz des aktuellen Intervalls I_n und eines vorausgegangenen Intervalls $I_{n,n-i}$. Stellt das Motorsteuergerät 24 fest, daß ein vorgegebenes Abbruchskriterium erfüllt wurde, beispielsweise indem ein Differenzgrenzwert ΔI_G unterschritten wurde, so beendet das Motorsteuergerät 24 die Entschwefelungsprozedur, indem es durch die Stellmittel der Drosselklappe 28 und des Abgasrückflußventils 30 die Betriebsbedingungen der Verbrennungskraftmaschine 14 entsprechend einem Normalbetrieb regelt.

In Abweichung zu der beschriebenen Prozedur kann die Länge eines Zeitintervalls I_n auch erfaßt werden, indem eine Reduktionsmittelmasse $m_{Red,n}$ oder eine Abgasmasse $m_{Gas,n}$ ermittelt wird, die vom Zeitpunkt des Abtauchens des Lambdawertes vor dem NO_x-Speicherkatalysator 16 unter den Schwellenwert S_f bis

- 10 -

zum Abtauchen des Lambdawertes hinter dem NO_x-Speicherkatalysator 16 unter den Schwellenwert S_f die Abgasanlage durchströmt. Die Berechnung der Reduktionsmittelmasse m_{Red,n} kann in an sich bekannter und hier nicht näher zu beschreibender Weise aus einem gemessenen Abgasmassenstrom und einem Lambdawert erfolgen. Die Überwachung der Entschwefelung anhand von durchgesetzten Gasmassen anstatt von Zeitintervallen hat den Vorteil einer erhöhten Unempfindlichkeit gegenüber schwankenden Betriebsbedingungen.

In einer stark bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, einen Betriebswechsel von einem fetten Betriebsmodus T_{f,n} in einen mageren Betriebsmodus T_{m,n} dadurch auszulösen, daß der Lambdawert hinter dem NO_x-Speicherkatalysator 16 den Schwellenwert S_f unterschreitet (Punkte E_n in Figur 2). Die Lambdaverläufe vor und hinter dem NO_x-Speicherkatalysator 16 gemäß einer derart dynamisch gesteuerten Entschwefelung sind in Figur 4 dargestellt. In dieser Verfahrensvariante entsprechen die Längen der Zeitintervalle I_n und die Längen der entsprechenden Fettphasen T_{f,n} einander exakt. Entsprechend nehmen die Längen der Fettphasen T_{f,n} im Verlauf des Entschwefelungsverfahrens progressiv ab. Der Vorteil dieser Ausgestaltung des Verfahrens besteht in einer erfolgreichen Unterdrückung des Schadstoffdurchbruches, der mit einem Abfall des Lambdawertes hinter dem NO_x-Speicherkatalysator 16 unter 1 einhergeht. Sinngemäß gelten die vorstehend beschriebenen Ausführungsmerkmale nicht nur für zeitlich bestimmte Intervalle, sondern auch für Intervalle, die auf der Basis von Abgas- oder Reduktionsmittelmasse bestimmt werden.

Gemäß einer unabhängigen Ausführung des vorliegenden Verfahrens kann der Fortschritt des Entschwefelungsprozesses auch anhand des zeitlichen Verlaufs einer Lambdasondenspannung U_n stromab des NO_x-Speicherkatalysators 16 während der fetten Betriebsphasen T_{f,n} verfolgt werden. Aufgrund der abnehmenden Menge eingelagerten Sulfates in den NO_x-Speicherkatalysator 16 wird, bei konstanten Längen der Fettintervalle T_{f,n}, ein immer stärkeres Abfallen des Lambdawertes hinter dem NO_x-Speicherkatalysator 16 unterhalb 1 beobachtet (vgl. Figur 2). Verfahrensgemäß wird die Lambdasondenspannung U_n nach einem konstanten vorgebbaren Intervall nach Beginn einer n-ten fetten Betriebsphase T_{f,n} erfaßt. Dabei kann vorteilhafterweise der Beginn der fetten Betriebsphase T_{f,n} wiederum durch einen Abfall des Lambdawertes vor dem NO_x-Speicherkatalysator 16 unterhalb des Lambdaschwel- lwertes S_f, der die oben genannte Definition besitzt, bestimmt werden. Das vorgebbare Intervall kann dabei eine Zeitspanne sein oder aber eine den NO_x-

- 11 -

Speicherkatalysator 16 durchgesetzte, vorgebbare Abgasmasse m_{Gas} oder Reduktionsmittelmasse m_{Red} . Vorteilhafterweise wird das vorgebbare Intervall entsprechend einer Länge einer fetten Betriebsphase $T_{f,n}$ gewählt. Gemäß dieser Ausgestaltung wird die Lambdasondenspannung U_n also am Ende einer fetten Betriebsphase $T_{f,n}$ erfaßt. Der Verlauf der Lambdasondenspannung hinter dem NO_x -Speicherkatalysator 16 während der Entschwefelung ist in Figur 5 dargestellt. Hierin ist erkennbar, daß die Länge eines Zeitintervalls I_n während einer fetten Betriebsphase $T_{f,n}$ bis zum Erreichen einer dem Lambdaschwellenwert S_f entsprechenden Lambdasondenspannung U_{Sf} mit zunehmender Entschwefelungsdauer progressiv abnimmt. Damit verbunden ist ein immer stärker werdender Anstieg der Lambdasondenspannung während der Fettphasen $T_{f,n}$. Ein zweckmäßiges Abbruchskriterium für die Entschwefelung kann beispielsweise wiederum dadurch gegeben sein, daß die Differenz $\Delta U_{n,n-i}$ einer Lambdasondenspannung U_n und einer vorausgegangenen Lambdasondenspannung U_{n-i} einen vorgebbaren Differenzgrenzwert ΔU_G unterschreitet.

Wird der Fortschritt einer Entschwefelung anhand einer Lambdasondenspannung U_n überwacht, muß zwangsläufig mit konstanten Längen von Fettphasen $T_{f,n}$ gearbeitet werden. Aus diesem Grunde geht diese Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit einem stärker werdenden Durchbruch von Schadstoffen wie Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen einher. Vorteilhaft ist hierbei jedoch, daß in den einzelnen Fettphasen $T_{f,n}$ eine quantitative Durchspülung des NO_x -Speicherkatalysators 16, die auch untere Katalysatorschichten einschließt, mit der fetten Abgasatmosphäre erreicht wird. Die Entschwefelungsdauer kann auf diese Weise erheblich verkürzt werden.

In den oben aufgeführten Ausführungsbeispielen wurde die erfindungsgemäße Überwachung des Entschwefelungsverfahrens anhand eines Verlaufes des Lambdawertes vor dem NO_x -Speicherkatalysator 16 gemäß einem vorgegebenen Rechteckprofil erläutert. Das erfindungsgemäße Verfahren ist jedoch mit gleichem Erfolg anwendbar, wenn andere Verläufe des Lambdawertes vor dem NO_x -Speicherkatalysator 16 während der Entschwefelung zugrunde gelegt werden, beispielsweise in Form eines Dreieckprofils oder auch komplizierteren Mustern. Es hat sich ferner als vorteilhaft erwiesen, wenn ein Wechsel von einem mageren in einen fetten Betriebsmodus der Verbrennungskraftmaschine durch ein Überschreiten eines vorgebbaren oberen Lambdaschwellenwertes S_m hinter dem NO_x -Speicherkatalysator 16 ausgelöst wird, wobei S_m größer als 1 und kleiner als die Lambdamagervorgabe V_m

- 12 -

gewählt wird. Es ist ferner möglich, den Wechsel zwischen den mageren und fetten Betriebsmodi mit definierten Verzögerungszeiten nach Über- und Unterschreitung der Schwellenwerte S_m beziehungsweise S_f hinter dem NO_x -Speicherkatalysator 16 auszulösen.

Um die erfindungsgemäßen Beobachtungsgrößen des Zeitintervalls I_n oder der Lambdasondenspannung U_n besonders reproduzierbar erfassen zu können, ist es zweckmäßig, die Mager- und Fett-Lambdavorgaben V_m und V_f während der Entschwefelung möglichst nicht zu variieren. Das gleiche gilt für eine Variierung der Verzögerungszeiten bei der Betriebsartenumschaltung. In der Praxis können strikte Lambdavorgaben unter bestimmten Betriebsbedingungen zu unerwünschten Effekten, beispielsweise Momenteneinbrüchen, führen. Es hat sich erwiesen, daß unter solchen Bedingungen eine geringfügige Variation der Lambdavorgaben für eine erfolgreiche Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens nicht kritisch ist. Schwankungen der Beobachtungsgrößen aufgrund variierender Lambdavorgaben können durch die Anwendung strengerer Abbruchskriterien, wie etwa ein hinreichend häufiges Unterschreiten eines vorgegebenen Differenzgrenzwertes, berücksichtigt werden.

Insgesamt stellt das erfindungsgemäße Verfahren ein empfindliches Instrument zur Überwachung des Fortschrittes einer Entschwefelung bereit. Die Dauer einer Entschwefelung kann somit auf den tatsächlich vorliegenden Bedarf abgestimmt werden. Auf diese Weise kann einerseits eine Einsparung von Kraftstoff und andererseits eine thermische Schädigung des Katalysators infolge exzessiver Entschwefelungszeiten vermieden werden. Ferner kann durch Anwendung des Verfahrens eine nicht schwefelbedingte Schädigung des NO_x -Speicherkatalysators 16 detektiert werden. Wird nämlich nach Beendigung eines der erfindungsgemäßen Entschwefelungsverfahren eine erwartungsgemäße NO_x -Speicheraktivität nicht wieder erlangt, so kann auf eine nicht schwefelbedingte Schädigung des NO_x -Speicherkatalysators 16, beispielsweise auf eine thermische Schädigung, geschlossen werden.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Entschwefelung eines in einem Abgaskanal einer Verbrennungskraftmaschine angeordneten NO_X-Speicherkatalysators mit mindestens einer stromab des NO_X-Speicherkatalysators angeordneten Lambdasonde, wobei die Verbrennungskraftmaschine für die Entschwefelung alternierend in einem mageren Betriebsmodus mit $\lambda > 1$ und einem fetten Betriebsmodus mit $\lambda < 1$ betrieben wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Fortschritt der Entschwefelung anhand eines Verlaufs einer Größe von Intervallen (I_n) während des Entschwefelungsprozesses überwacht wird, wobei das Intervall (I_n) von einem Beginn einer n-ten fetten Betriebsphase ($T_{f,n}$) bis zu einem Unterschreiten eines vorgebbaren Lambdaschwellenwertes (S_f) stromab des NO_X-Speicherkatalysators (16) dauert und S_f kleiner als 1 und größer als ein vorgegebener Lambdawert (V_f) vor dem NO_X-Speicherkatalysator (16) ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Beginn einer n-ten fetten Betriebsphase ($T_{f,n}$) durch ein Unterschreiten des vorgebbaren Lambdaschwellenwertes (S_f) vor dem NO_X-Speicherkatalysator (16) definiert wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Wechsel von einem fetten in einen mageren Modus durch das Unterschreiten des vorgebbaren Lambdaschwellenwertes (S_f) stromab des NO_X-Speicherkatalysators (16) ausgelöst wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Differenz ($\Delta I_{n,n-i}$) eines n-ten Intervalls (I_n) und eines vorausgegangenen (n-i)-ten Intervalls (I_{n-i}) berechnet wird, wobei (i) eine ganze positive Zahl bedeutet, und bei einer mindestens einmaligen Unterschreitung eines vorgebbaren Differenzgrenzwertes (ΔI_G) durch die Differenz ($\Delta I_{n,n-i}$) die Entschwefelung beendet wird.

- 14 -

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Differenz ($\Delta l_{n,n-1}$) des n-ten Intervalls (l_n) und eines unmittelbar vorausgegangenen (n-1)-ten Intervalls (l_{n-1}) berechnet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Größe eines Intervalls (l_n) seiner zeitlichen Länge entspricht.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Größe eines Intervalls (l_n) einer während der Dauer des Intervalls (l_n) den NO_x-Speicherkatalysator (16) durchgesetzten Abgasmasse ($m_{Gas,n}$) entspricht.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Größe eines Intervalls (l_n) einer während der Dauer des Intervalls (l_n) den NO_x-Speicherkatalysator (16) durchgesetzten Reduktionsmittelmasse ($m_{Red,n}$) entspricht.
9. Verfahren zur Entschwefelung eines in einem Abgaskanal einer Verbrennungskraftmaschine angeordneten NO_x-Speicherkatalysators mit mindestens einer stromab des NO_x-Speicherkatalysators angeordneten Lambdasonde, wobei die Verbrennungskraftmaschine für die Entschwefelung alternierend in einem mageren Betriebsmodus mit $\lambda > 1$ und einem fetten Betriebsmodus mit $\lambda < 1$ betrieben wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Fortschritt der Entschwefelung anhand eines Verlaufs einer Lambdasondenspannung (U_n) stromab des NO_x-Speicherkatalysators (16), welche nach einem vorgebbaren Intervall nach Beginn einer n-ten fetten Betriebsphase ($T_{f,n}$) ermittelt wird, überwacht wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Beginn der n-ten fetten Betriebsphase ($T_{f,n}$) durch ein Unterschreiten eines vorgebbaren Lambdaschwellenwertes (S_f) vor dem NO_x-Speicherkatalysator (16) definiert wird und S_f kleiner als 1 und größer als ein vorgegebener Lambdawert (V_f) vor dem NO_x-Speicherkatalysator (16) ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß das vorgebbare Intervall einer Zeitspanne entspricht.

- 15 -

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß das vorgebbare Intervall einer den NO_x-Speicherkatalysator (16) durchgesetzten Abgasmasse (m_{Gas}) entspricht.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß das vorgebbare Intervall einer den NO_x-Speicherkatalysator (16) durchgesetzten Reduktionsmittelmasse (m_{Red}) entspricht.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß das vorgebbare Intervall der Länge der fetten Betriebsphasen (T_f) entspricht.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Differenz ($\Delta U_{n,n-i}$) der Lambdasondenspannung (U_n) einer n-ten fetten Betriebsphase ($T_{f,n}$) und mit einer Lambdasondenspannung (U_{n-i}) einer vorausgegangenen (n-i)-ten fetten Betriebsphase ($T_{f,n-i}$) berechnet wird, wobei i eine ganze positive Zahl bedeutet, und bei einer mindestens einmaligen Unterschreitung eines vorgebbaren Differenzgrenzwertes (ΔU_G) durch die Differenz ($\Delta U_{n,n-i}$) die Entschwefelung beendet wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Differenz ($\Delta U_{n,n-1}$) der Lambdasondenspannung (U_n) einer n-ten fetten Betriebsphase und einer Lambdasondenspannung (U_{n-1}) einer unmittelbar vorausgegangenen (n-1)-ten fetten Betriebsphase berechnet wird.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß der zeitliche Verlauf des Lambdawertes vor dem NO_x-Speicherkatalysator (16) während der Entschwefelung einem Rechteckprofil entspricht.
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß der zeitliche Verlauf des Lambdawertes vor dem NO_x-Speicherkatalysator (16) während der Entschwefelung einem Dreieckprofil entspricht.
19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Wechsel von einem mageren in einen fetten

- 16 -

Betriebsmodus der Verbrennungskraftmaschine (14) durch ein Überschreiten eines vorgebbaren Lambdaschwellenwertes (S_m) stromab des NO_X-Speicherkatalysators (16) ausgelöst wird, wobei S_m größer als 1 und kleiner als ein vorgegebener Lambdawert (V_m) vor dem NO_X-Speicherkatalysator (16) ist.

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Wechsel zwischen den mageren und fetten Betriebsmodi mit definierten Verzögerungszeiten nach Über- und Unterschreitung des oberen beziehungsweise des unteren Schwellenwertes des stromab des NO_X-Speicherkatalysators (16) vorliegenden Lambdawertes ausgelöst wird.

1/5

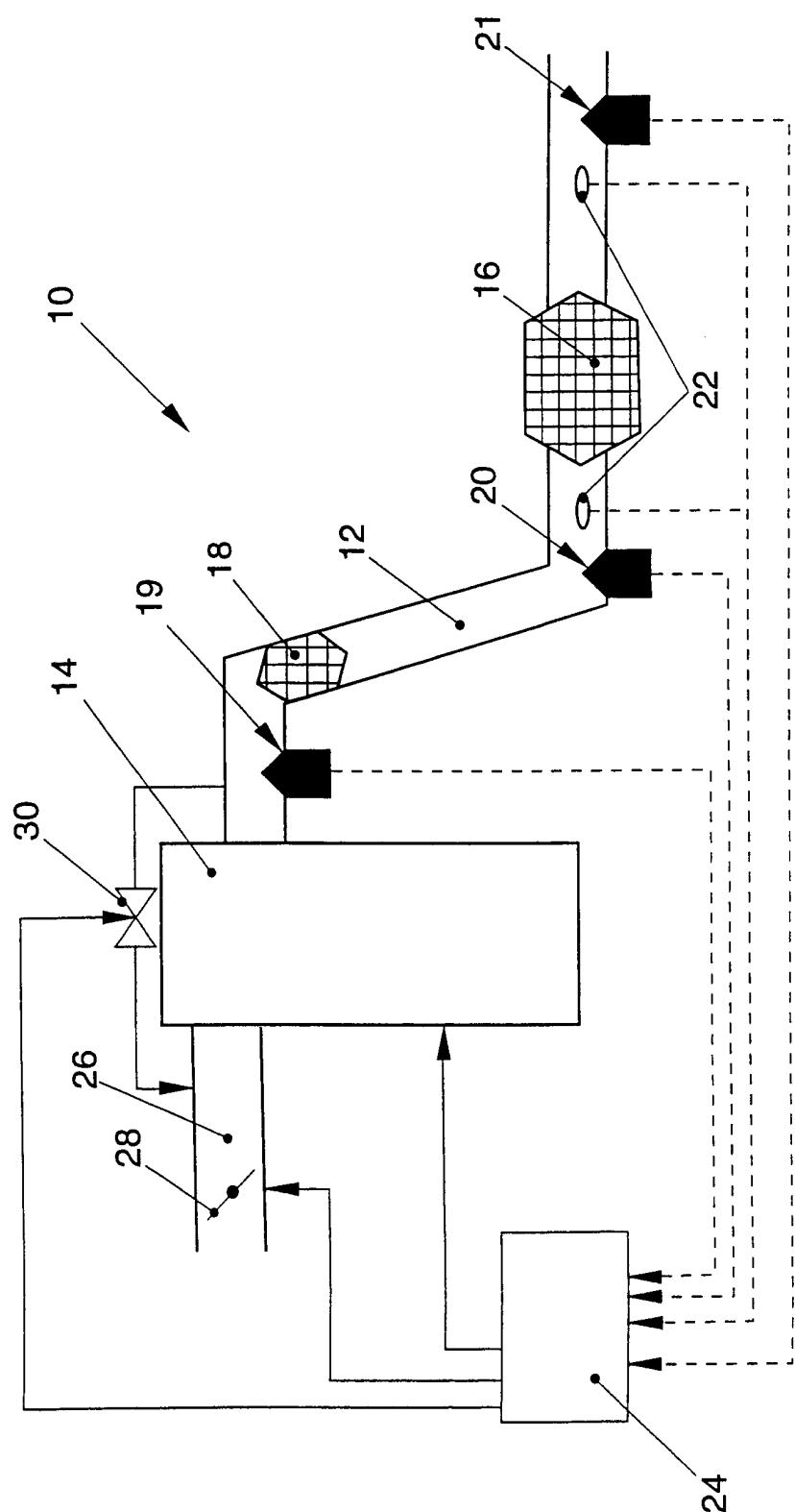


FIG. 1

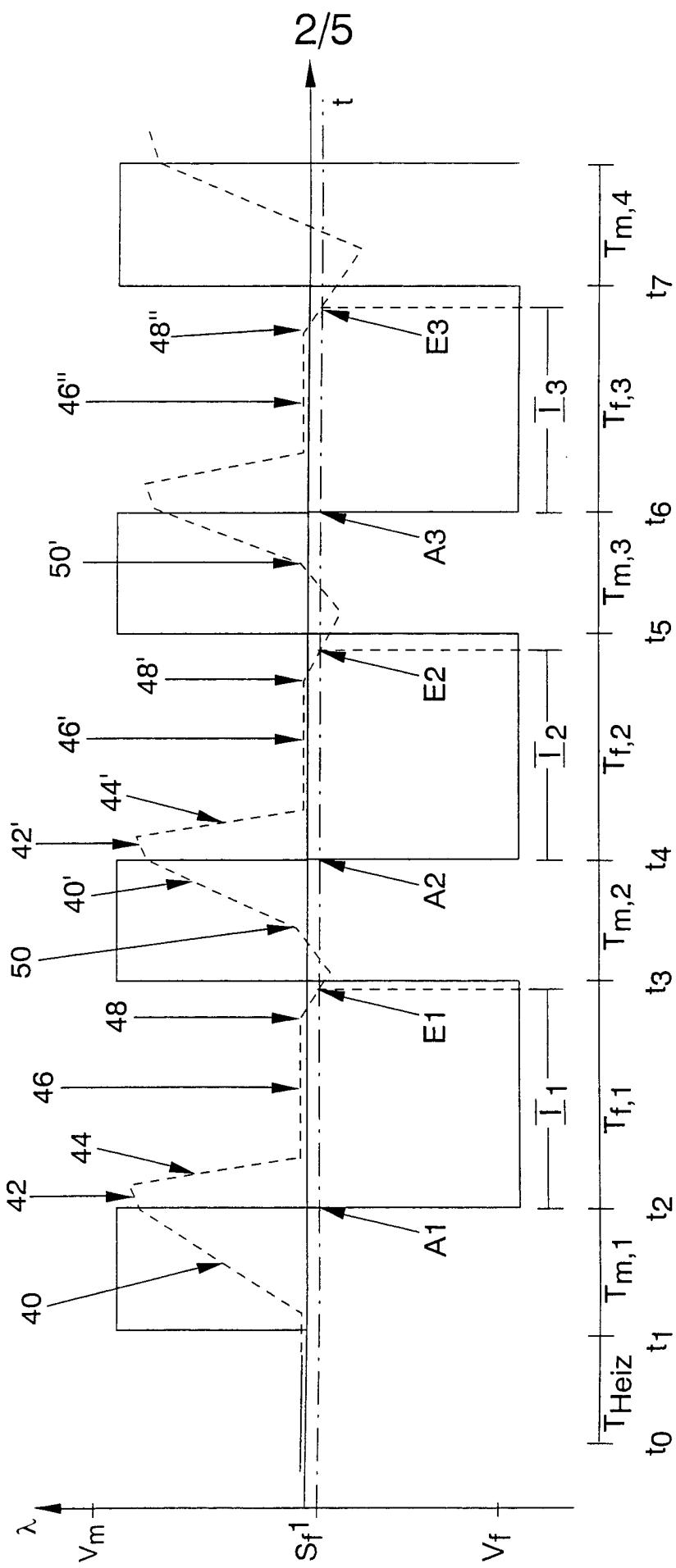


FIG. 2

3/5

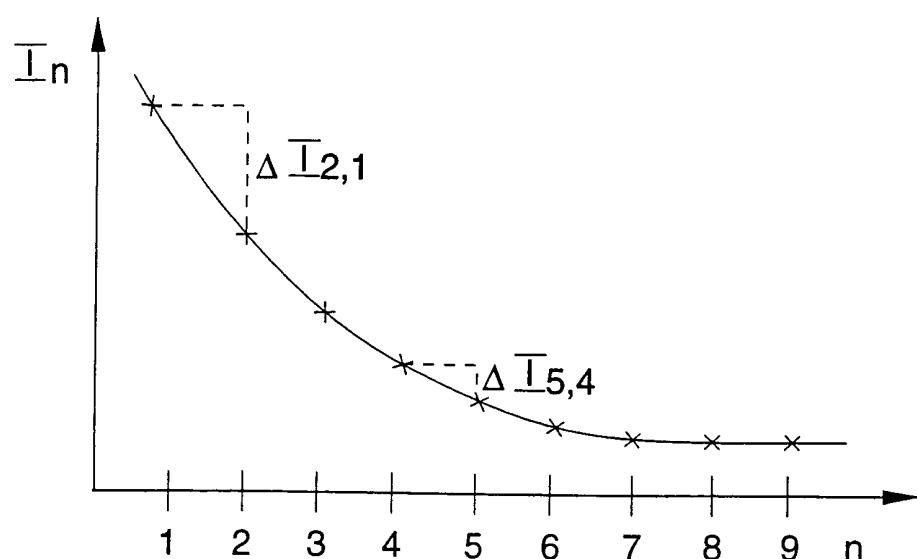


FIG. 3

4/5

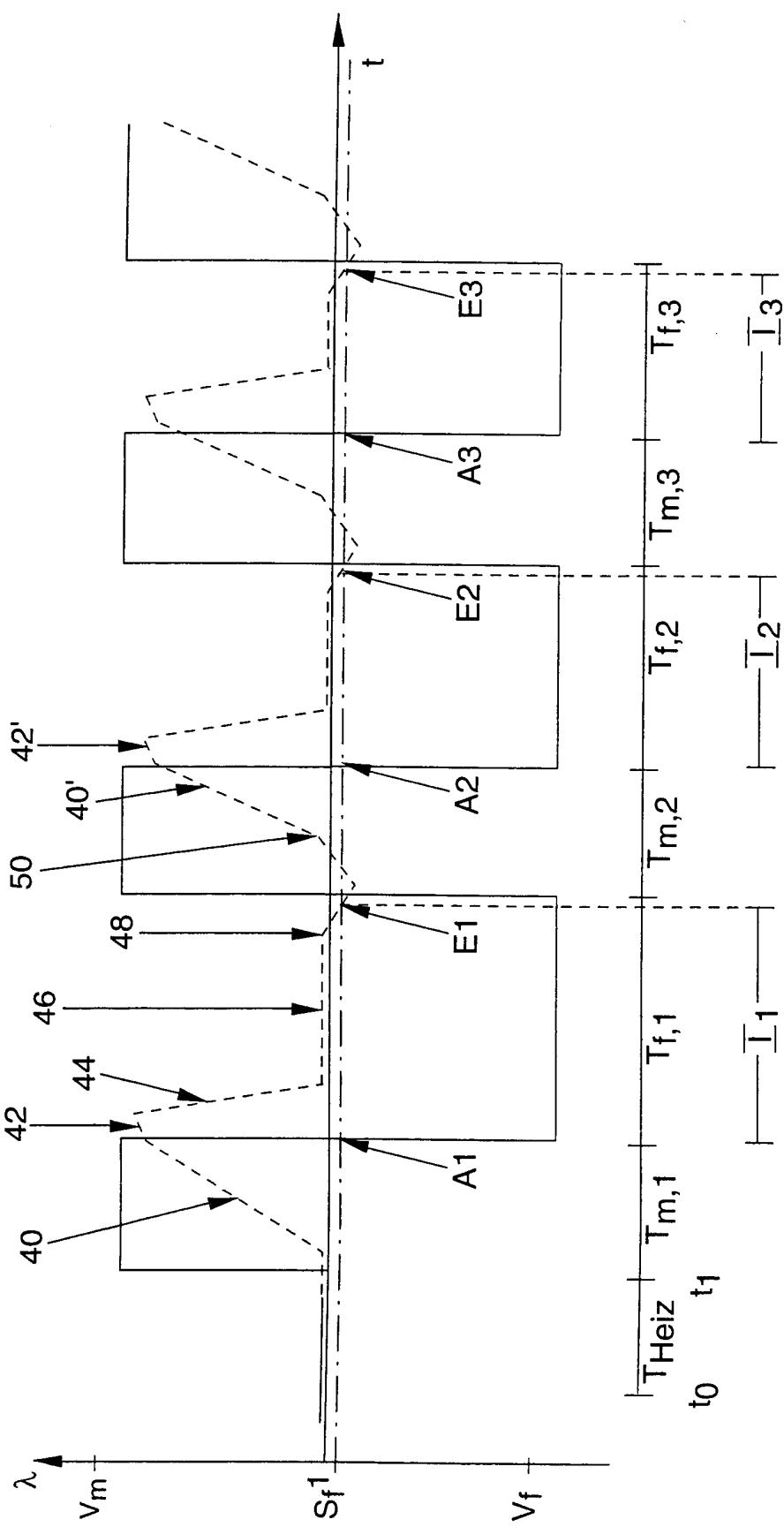


FIG. 4

5/5

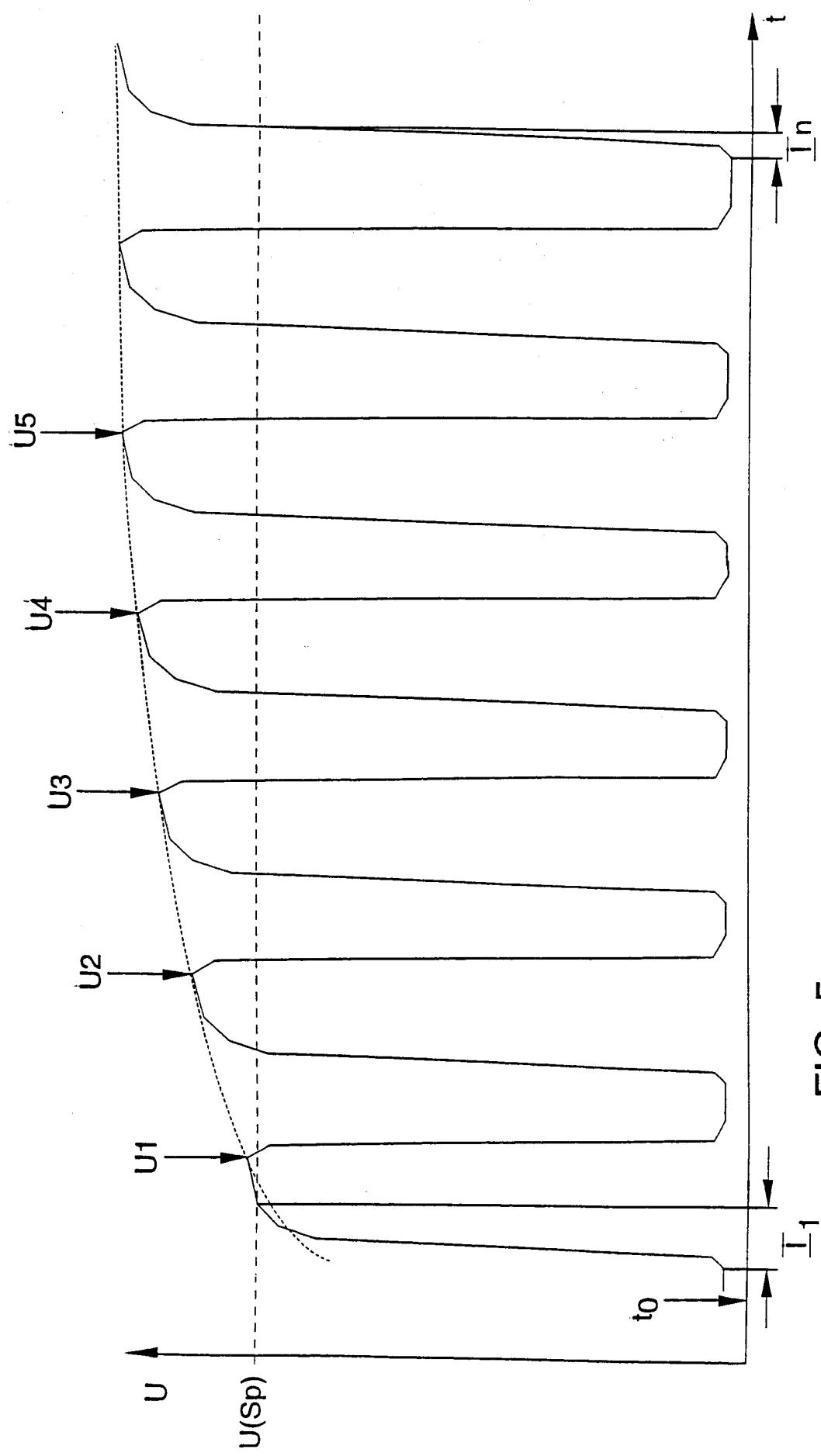


FIG. 5