

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 1 247 963 A2**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:

**09.10.2002 Patentblatt 2002/41**(51) Int Cl.7: **F02D 41/02**(21) Anmeldenummer: **02090054.4**(22) Anmeldetag: **13.02.2002**

(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: **03.04.2001 DE 10117434**(71) Anmelder: **Volkswagen Aktiengesellschaft  
38436 Wolfsburg (DE)**(72) Erfinder: **Hahn, Hermann, Dr.  
30175 Hannover (DE)**(74) Vertreter: **Schneider, Henry, Dipl.-Ing. et al  
Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider  
Schützenstrasse 15-17  
10117 Berlin (DE)**(54) **Verfahren zur Steuerung eines Betriebsmodus einer magerlauffähigen  
Verbrennungskraftmaschine**

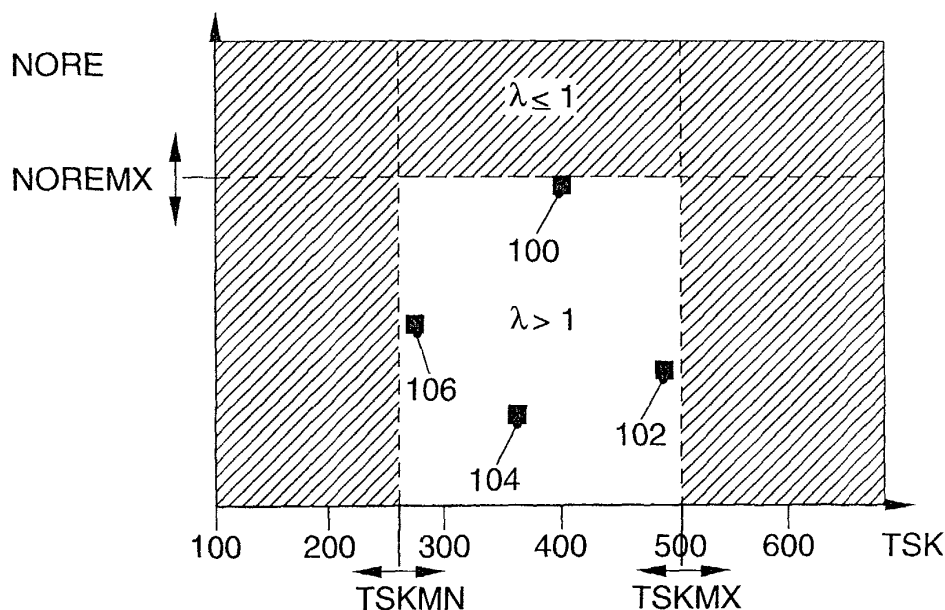
(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Betriebsmodus einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine (10) mit einem Abgastrakt (14), der mindestens einen NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (20) und einem diesem nachgeschalteten Gassensor (24) umfasst.

Hierzu ist vorgesehen, dass

- ein Magerbetriebsmodus der Verbrennungskraftmaschine (10) mit  $\lambda > 1$  in Abhängigkeit von vor-

gebbaren Schwellenwerten für eine Temperatur (TSK) des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) und für mindestens einen weiteren Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine (10) und/oder des Abgastraktes (14) zugelassen wird und

- mindestens ein Schwellenwert in Abhängigkeit einer aktuellen NO<sub>x</sub>-Speicher- und/oder NO<sub>x</sub>-Konvertierungsfähigkeit des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) variiert wird.

**FIG. 2****EP 1 247 963 A2**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Betriebsmodus einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine mit den Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruchs 1.

**[0002]** Zur Senkung eines Kraftstoffverbrauchs werden heutige Verbrennungskraftmaschinen über möglichst weite Betriebsbereiche in einem mageren Betriebsmodus betrieben, das heißt mit einem Luft-Kraftstoff-Gemisch mit Luftüberschuss ( $\lambda > 1$ ). Im Falle von Verbrennungskraftmaschinen, die über eine Kraftstoffdirekteinspritzung verfügen, können durch Realisierung eines so genannten Schichtladebetriebes, bei dem der eingespritzte Kraftstoff sich im Wesentlichen im Bereich einer Zündkerze eines Zylinders konzentriert, besonders magere Luft-Kraftstoff-Gemische und damit besonders hohe Verbrauchsvorteile dargestellt werden. Ein gewisses Problem des mageren Betriebsmodus stellen bekanntlich Stickoxide  $\text{NO}_x$  des Abgases dar, die sich aufgrund des Sauerstoffüberschusses im mageren Abgas an herkömmlichen Oxidations- oder 3-Wege-Katalysatoren nicht vollständig zu umweltneutralem Stickstoff  $\text{N}_2$  umsetzen lassen. Zur Überwindung dieses Problems ist bekannt,  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysatoren einzusetzen, die neben einer 3-Wege-katalytischen Komponente eine  $\text{NO}_x$ -Speicherkomponente zur Absorption von  $\text{NO}_x$  im mageren Abgas aufweisen. Zum Zwecke einer  $\text{NO}_x$ -Regeneration werden  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysatoren im diskontinuierlichen Betrieb alternierend mit magerem und fettem Abgas beaufschlagt, wobei in den fetten Intervallen das im Magerbetrieb eingelagerte  $\text{NO}_x$  freigesetzt und reduziert wird. Diese aufgrund einer endlichen  $\text{NO}_x$ -Speicherkapazität eines Speicherkatalysators erforderlichen fetten Betriebsintervalle führen allerdings zu einer teilweisen Kompensation des im Magerbetrieb erzielten Verbrauchsvorteils.

**[0003]** Eine  $\text{NO}_x$ -Speicher- und Konvertierungsfähigkeit des Speicherkatalysators hängt von verschiedenen Betriebsparametern ab und verändert sich zudem mit einer Alterung des Katalysators. Insbesondere liegt nur in einem gewissen Temperaturbereich des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators eine ausreichende Speicherfähigkeit vor. Daher ist beispielsweise aus der DE 199 32 290 A1 und der DE 199 29 292 A1 bekannt, eine Zulassung eines Magerbetriebs der Verbrennungskraftmaschine von der Katalysatortemperatur des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators abhängig zu machen und eine untere und obere Temperaturschwelle für den zulässigen Magerbetriebsbereich vorzugeben, um  $\text{NO}_x$ -Durchbrüche zu vermeiden. Die DE 198 50 786 A1 offenbart ferner ein Verfahren, wonach diese obere und untere Temperaturschwelle an die  $\text{NO}_x$ -Speicherfähigkeit des Katalysators adaptiert wird, welche anhand einer Dauer eines vorausgegangenen Magerintervalls oder  $\text{NO}_x$ -Regenerationsintervalls überwacht wird.

**[0004]** Es hat sich jedoch erwiesen, dass die Katalysatortemperatur allein kein ausreichendes Kriterium für

die  $\text{NO}_x$ -Speicher- und Konvertierungsfähigkeit des Katalysators und somit für die Zulassung des Magerbetriebsmodus darstellt. Vielmehr hängt das  $\text{NO}_x$ -Einspeicherverhalten des Katalysators von weiteren Einflussgrößen ab. So kann beispielsweise ein gealterter Speicherkatalysator bei einer mittleren Katalysatortemperatur von 350 °C in Betriebspunkten mit niedrigen  $\text{NO}_x$ -Rohemissionen noch eine ausreichende  $\text{NO}_x$ -Speicher- und -Konvertierungsfähigkeit aufweisen, dagegen bei hohen  $\text{NO}_x$ -Rohemissionen die Speicherfähigkeit so weit abnehmen, dass eine hierdurch verursachte hohe Regenerationshäufigkeit den durch den Magerbetrieb gewonnenen Verbrauchsvorteil vollständig aufzehrt. In einem solchen Falle zeigt die Anpassung der Temperaturschwellen nicht den gewünschten Erfolg.

**[0005]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zur Steuerung eines Betriebsmodus einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine bereitzustellen, welches die geschilderten Mängel des Standes der Technik überkommt und durch genauere Abstimmung eines Magerbetriebsmodus der Verbrennungskraftmaschine auf einen aktuellen Betriebspunkt sowie auf einen Zustand des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators erlaubt.

**[0006]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Dadurch, dass

- ein Magerbetriebsmodus der Verbrennungskraftmaschine mit  $\lambda > 1$  in Abhängigkeit von vorgebbaren Schwellenwerten für eine Temperatur des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators und für mindestens einen weiteren Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine und/oder des Abgastraktes zugelassen wird und
- mindestens ein Schwellenwert in Abhängigkeit einer aktuellen  $\text{NO}_x$ -Speicher- und/oder  $\text{NO}_x$ -Konvertierungsfähigkeit des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators variiert wird,

erfolgt eine Zulassung des Magerbetriebsmodus unter sehr genauer Berücksichtigung des aktuellen Betriebspunktes sowie eine ständige Aktualisierung der Zulassungsbedingungen an eine tatsächliche  $\text{NO}_x$ -Speicher- und/oder -Konvertierungsfähigkeit des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators. Im Ergebnis kann somit eine  $\text{NO}_x$ -Endemission deutlich reduziert werden und gleichzeitig der Magerbetriebsmodus über weite Betriebsbereiche eines durch die Verbrennungskraftmaschine angetriebenen Fahrzeuges eingesetzt werden, wodurch optimale Kraftstoffverbrauchswerte erzielt werden können.

**[0007]** Es ist besonders bevorzugt vorgesehen, dass der Magerbetriebsmodus von einer  $\text{NO}_x$ -Rohemission der Verbrennungskraftmaschine abhängig gemacht wird, da diese entscheidend eine  $\text{NO}_x$ -Speicherrate des Speicherkatalysators beeinflusst. Ferner können Rohemissionen weiterer Abgaskomponenten, insbesondere von unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC und/oder

Kohlendioxid  $\text{CO}_2$  und/oder Kohlenmonoxid  $\text{CO}$ , berücksichtigt werden. Diese behindern in hohen Konzentrationen die Einlagerung von  $\text{NO}_x$  in den Katalysator. Entsprechend kann für die Rohemission jeder dieser Komponenten oder einer Summe der Komponenten ein oberer Schwellenwert vorgegeben werden, bei dessen Überschreitung der Magerbetriebsmodus gesperrt wird. Dabei wird unter Rohemission eine Konzentration und/oder ein Massenstrom der jeweiligen Abgaskomponente stromauf eines ersten, der Verbrennungskraftmaschine nachgeschalteten Katalysators verstanden. Im Einzelfall kann eine Vorgabe einzelner Schwellenwerte für die Konzentration und den Massenstrom zweckmäßig sein. Die Rohemission von  $\text{NO}_x$  oder der weiteren Abgaskomponenten kann entweder mittels entsprechend im Abgastrakt angeordneten Gassensoren gemessen oder vorzugsweise in Abhängigkeit eines aktuellen Betriebspunktes der Verbrennungskraftmaschine, insbesondere einer aktuellen Motordrehzahl und/oder Motorlast, modelliert werden. Dabei wird, falls die Verbrennungskraftmaschine sich aktuell in einem stöchiometrischen oder fetten Betriebsmodus mit  $\lambda \leq 1$  befindet, für die Modellierung ein Magerbetriebsmodus angenommen. Eine derartige Modellierung von Rohemissionen, beispielsweise anhand von gespeicherten Kennfeldern, ist hinreichend bekannt und wird hier nicht näher erläutert.

**[0008]** Bezüglich der Temperatur des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators kann eine lokale Temperatur einer Beschichtung des Katalysators und/oder eines Katalysatorträgers und/oder eine Temperaturverteilung über die gesamte Katalysatorlänge betrachtet werden. Dabei kann die Katalysatortemperatur aus einer stromauf und/oder stromab des Speicherkatalysators gemessenen Abgastemperatur ermittelt und/oder mittels einer im Katalysator selbst angeordneten Temperaturmessstelle gemessen werden. Es ist jedoch ebenso bekannt und zweckmäßig, die Katalysatortemperatur in Abhängigkeit eines Betriebspunktes der Verbrennungskraftmaschine unter Verwendung entsprechender Kennfelder mit guter Genauigkeit zu berechnen.

**[0009]** Um eine Anpassung der Schwellenwerte für den zulässigen Magerbetriebsbereich an tatsächliche Erfordernisse vorzunehmen, erfolgt die Variation mindestens eines Schwellenwertes, wenn die  $\text{NO}_x$ -Speicher- und/oder -Konvertierungsfähigkeit des Katalysators einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet, das heißt hinter einer, für einen frischen  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator abgeleiteten oder auf einen bereits irreversibel teilgeschädigten Katalysator abgestimmten Leistungserwartung zurückbleibt. Zur Beurteilung der  $\text{NO}_x$ -Speicher- und/oder -Konvertierungsfähigkeit bieten sich verschiedene Strategien an. Insbesondere kann der Magerbetrieb über einen stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators beispielsweise mittels eines  $\text{NO}_x$ -Sensors gemessenen  $\text{NO}_x$ -Gehalt im Abgas gesteuert und beendet werden, wenn ein temporärer oder ein über die Magerbetriebsphase kumulierter  $\text{NO}_x$ -Gehalt eine Er-

schöpfung der Speicherkapazität des Katalysators anzeigt. In diesem Fall kann eine Dauer einer so gesteuerten Magerbetriebsphase als Maß für eine eingelagerte  $\text{NO}_x$ -Masse und somit für die Speicher- und -Konvertierungsfähigkeit des Katalysators herangezogen werden. Ebenso kann der gemessene, insbesondere der kumulierte  $\text{NO}_x$ -Gehalt oder dessen Verlauf zur Beurteilung der  $\text{NO}_x$ -Speicher- und/oder -Konvertierungsfähigkeit herangezogen werden. Alternativ kann auch eine Dauer mindestens einer vorausgegangenen  $\text{NO}_x$ -Regenerationsphase als Kriterium für die Speicher- und/oder -Konvertierungsfähigkeit des Katalysators eingesetzt werden, wenn die Regeneration abhängig von einem stromab des Katalysators beispielsweise mittels einer Lambdasonde gemessenen Sauerstoffgehalt gesteuert wird. Auch hier kann statt der Dauer der Regenerationsphase auch der gemessene Sauerstoffgehalt beziehungsweise dessen Verlauf als Kriterium dienen. Ferner kann die  $\text{NO}_x$ -Speicher- und/oder -Konvertierungsfähigkeit des Speicherkatalysators anhand eines Kraftstoffverbrauchs und/oder anhand einer Häufigkeit der  $\text{NO}_x$ -Regeneration bestimmt werden. Unabhängig von der Wahl der Beurteilungsgröße wird das Verhalten des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators stets mit dem eines frischen ungeschädigten Katalysators oder - falls bereits irreversible Schädigungen festgestellt wurden - mit einem bestenfalls zu erwartenden Verhalten verglichen.

**[0010]** Es wird vorzugsweise immer derjenige Schwellenwert eines Betriebsparameters der Verbrennungskraftmaschine und/oder des Abgastraktes variiert, in dessen Bereich sich der Betriebszustand während der vorausgegangenen Magerphase befand oder zumindest vorwiegend befand, wobei für den Bereich entsprechende Grenzen vorzugeben sind. Lag der gegebenenfalls gemittelte Betriebszustand im Betrachtungszeitraum im Grenzbereich mehrerer Schwellenwerte, so werden vorzugsweise alle betroffenen Schwellenwerte variiert.

**[0011]** Lag hingegen der Betriebszustand in keinem Bereich eines Schwellenwertes, kann vorteilhaft zumindest ein Schwellenwert variiert werden. Es ist insbesondere vorgesehen, einen oberen Schwellenwert für eine im Magerbetriebsmodus zulässige Rohemission abzusenken, wenn während der vorausgegangenen Magerbetriebsphase die mittlere  $\text{NO}_x$ -Rohemission der Verbrennungskraftmaschine sich im Bereich dieses oberen Schwellenwertes befand und die  $\text{NO}_x$ -Speicher- und/oder -Konvertierungsfähigkeit den vorgegebenen Grenzwert unterschreitet. Umgekehrt kann bei ausreichender Speicher- und Konvertierungsfähigkeit dieser Schwellenwert angehoben werden. In analoger Weise wird für die anderen betrachteten Schwellenwerte vorgegangen. Zudem kann es insbesondere im Falle eines unteren Schwellenwertes für eine im Magerbetriebsmodus zulässige Katalysatortemperatur sinnvoll sein, eine gemessene oder berechnete irreversible Schädigung des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators statt oder zusätzlich

zum aktuell gemessenen Katalysatorverhalten zu berücksichtigen.

**[0012]** Die Verbrennungskraftmaschine verfügt vorzugsweise über eine Kraftstoffdirekteinspritzung und ist im Magerbetriebsmodus schichtladefähig. Dabei liegt im Schichtladebetrieb ein in einen Zylinder eingespritzter Kraftstoff zum Zündzeitpunkt im Wesentlichen im Bereich einer Zündkerze konzentriert vor, während im übrigen Brennraum des Zylinders praktisch reine Luft vorherrscht. Auf diese Weise lassen sich im Schichtladebetrieb besonders magere Luft-Kraftstoff-Verhältnisse und somit ein besonders niedriger Kraftstoffverbrauch realisieren. Die Ausbildung der Schichtladungswolke sowie ihr Transport zur Zündkerze kann in bekannter Weise durch wandführende Maßnahmen, beispielsweise durch eine muldenförmige Ausgestaltung eines Kolbenbodens, unterstützt werden. Ferner sind luftführende Maßnahmen bekannt und zweckdienlich, die etwa in Form einer in einem Saugrohr des Zylinders angeordneten Ladungsbewegungsklappe realisiert werden können und spezielle Luftströmungen im Brennraum bewirken.

**[0013]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

**[0014]** Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine Blockdarstellung einer Verbrennungskraftmaschine mit zugeordneter Abgasanlage;

Figur 2 einen in Abhängigkeit von einer Katalysatortemperatur und einer  $\text{NO}_x$ -Rohemission zulässigen Bereich für einen Magerbetriebsmodus und

Figur 3 ein Fließschema einer bevorzugten Ausführung des Verfahrens.

**[0015]** Die in Figur 1 dargestellte magerlauffähige Verbrennungskraftmaschine 10 weist in diesem Beispiel vier Zylinder 12 auf, die jeweils über ein nicht dargestelltes Kraftstoff-Direkteinspritzungssystem verfügen. Die Verbrennungskraftmaschine 10 ist ferner mittels eines wand- und luftgeführten Gemischaufbereitungsverfahrens in einem Schichtlademodus betreibbar. Ein von der Verbrennungskraftmaschine 10 erzeugtes Abgas wird in einem insgesamt mit 14 bezeichneten Abgastrakt nachbehandelt. Der Abgastrakt 14 besteht im Wesentlichen aus einem in einem Abgaskanal 16 installierten Katalysatorsystem, mit einem kleinvolumigen und motornah angeordneten Vorkatalysator 18, beispielsweise einem 3-Wege- oder Oxidationskatalysator, sowie einem typischerweise an einer Unterbodenposition angeordneten  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 20. Der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 20 umfasst neben einer

3-Wege-Katalysatorkomponente einen  $\text{NO}_x$ -Absorber zur Einspeicherung von im Magerbetriebsmodus nicht vollständig konvertierbaren Stickoxiden  $\text{NO}_x$ . Eine stromab der Verbrennungskraftmaschine 10 angeordnete Lambdasonde 22 misst einen Sauerstoffgehalt des Abgases und ermöglicht somit eine Regelung eines den Zylindern 12 zuzuführenden Luft-Kraftstoff-Verhältnisses. Stromab des Speicherkatalysators 20 ist ein weiterer Gassensor 24 installiert, der vorzugsweise ein  $\text{NO}_x$ -Sensor ist. Der  $\text{NO}_x$ -Sensor 24 erkennt beispielsweise einen  $\text{NO}_x$ -Durchbruch während eines Magerbetriebs und regelt somit eine diskontinuierliche Mager/Fett-Beaufschlagung des Speicherkatalysators 20 zum Zwecke seiner  $\text{NO}_x$ -Regeneration. Eine Temperaturmessstelle 26 misst stromauf des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 20 eine Abgastemperatur und erlaubt Rückschlüsse auf die Temperatur des Speicherkatalysators 20. Alternativ kann die Katalysatortemperatur auch in an sich bekannter Weise anhand ausgewählter Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10 modelliert werden. Alle Sensorsignale sowie Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10 und des Abgastraktes 14 werden an eine Motorsteuerung 28 übermittelt. Hier erfolgt eine Auswertung der Signale und Daten und eine Steuerung der Verbrennungskraftmaschine 10 anhand gespeicherter Algorithmen und Kennfelder.

**[0016]** Die Fähigkeit des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 20, Stickoxide zu speichern, ist nicht in jedem Betriebspunkt ausreichend, um eine  $\text{NO}_x$ -Emission in Einklang mit zulässigen Grenzwerten zu gewährleisten. Insbesondere weist der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 20 nur in einem bestimmten Temperaturfenster eine ausreichende  $\text{NO}_x$ -Speicher- und -Konvertierungsfähigkeit auf, weshalb üblicherweise ein oberer und ein unterer Schwellenwert für eine im Magerbetriebsmodus zulässige Katalysatortemperatur vorgegeben werden. Liegt die Katalysatortemperatur außerhalb des durch die Schwellenwerte begrenzten Bereiches, wird der Magerbetrieb gesperrt und die Verbrennungskraftmaschine 10 in einem stöchiometrischen oder fetten Betrieb gefahren. Erfindungsgemäß werden neben der Katalysatortemperatur zusätzliche Schwellenwerte für mindestens einen weiteren Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10 oder des Abgastraktes 14 vorgegeben, insbesondere für eine maximal zulässige  $\text{NO}_x$ -Rohemission der Verbrennungskraftmaschine 10. Ferner können vorzugsweise alle vorgegebenen Schwellenwerte adaptiert werden, wenn die  $\text{NO}_x$ -Speicher- und/oder -Konvertierungsfähigkeit des Speicherkatalysators 20 unterhalb eines angeforderten Wertes liegt.

**[0017]** Figur 2 zeigt die Abhängigkeit eines Zulässigkeitsbereiches für den Magerbetriebsmodus von einer Katalysatortemperatur TSK des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 20 sowie von einer  $\text{NO}_x$ -Rohemission NORE der Verbrennungskraftmaschine 10. Dabei ist der für den Magerbetrieb mit  $\lambda > 1$  zugelassene Bereich weiß dargestellt und der Bereich, in dem die Verbrennungskraft-

maschine 10 mit einem fetten oder stöchiometrischen Gemisch mit  $\lambda \leq 1$  betrieben werden muss, schraffiert dargestellt. Der Magerbetriebsbereich wird begrenzt durch einen unteren Temperaturschwellenwert TSKMN und einen oberen Temperaturschwellenwert TSKMX für die Katalysatortemperatur TSK. Auf der anderen Seite wird der Magerbetrieb gesperrt, wenn die  $\text{NO}_x$ -Rohemission NORE oberhalb eines maximalen Schwellenwertes NOREMX liegt. Eine Vorgabe weiterer Schwellenwerte ist denkbar. Beispielsweise könnte in einer dritten, nicht dargestellten Dimension ein oberer Schwellenwert für eine Rohemission von Abgasbestandteilen wie HC,  $\text{CO}_2$  und CO vorgesehen sein, die die Einlagerung von  $\text{NO}_x$  in den Katalysator behindern.

**[0018]** Alle vorgegebenen Schwellenwerte sind variabel gestaltet und können in vorgebbaren Grenzen in Abhängigkeit einer aktuellen  $\text{NO}_x$ -Speicher- und/oder -Konvertierungsfähigkeit des Speicherkatalysators 20 variiert werden. Dabei wird vorzugsweise derjenige Schwellenwert verändert, in dessen Grenzbereich ein Betriebspunkt im betrachteten Zeitraum einer vorausgegangenen Magerbetriebsphase lag. Lag beispielsweise, wie im Punkt 100 dargestellt, die gegebenenfalls gemittelte  $\text{NO}_x$ -Rohemission der vorausgegangenen Magerbetriebsphase nahe an dem oberen Schwellenwert NOREMX, so wird dieser Schwellenwert NOREMX abgesenkt, wenn eine unzureichende  $\text{NO}_x$ -Speicherfähigkeit oder -Konvertierungsfähigkeit, beispielsweise anhand einer Länge der Magerbetriebsphase oder einer stromab des Speicherkatalysators 20 gemessenen  $\text{NO}_x$ -Emission, erkannt wird. Auf der anderen Seite kann im Punkt 100 unter bestimmten, noch zu erläuternden Voraussetzungen eine Anhebung des Schwellenwertes NOREMX erfolgen, wenn eine ausreichende  $\text{NO}_x$  Speicherfähigkeit vorliegt. Lag der Betriebspunkt im betrachteten Intervall dagegen im Grenzbereich des oberen Temperaturschwellenwertes TSKMX (Punkt 102), so erfolgt eine Absenkung dieser Temperaturschwelle bei unzureichender Speicherfähigkeit und gegebenenfalls einer Anhebung bei ausreichender Speicherfähigkeit. Befindet sich der Betriebspunkt in der Nähe mehrerer Schwellenwerte, so können auch alle betroffenen Schwellenwerte adaptiert werden. Befindet sich der Betriebspunkt, wie in Punkt 104 dargestellt, in keinem Grenzbereich eines Schwellenwertes, so können bei unzureichender  $\text{NO}_x$ -Speicher- und/oder  $\text{NO}_x$ -Konvertierungsfähigkeit mehrere, mindestens aber ein Schwellenwert variiert werden. Da die Katalysatortemperatur TSK und die  $\text{NO}_x$ -Rohemission NORE den größten Einfluss auf die Speicherfähigkeit haben, erfolgt vorzugsweise eine Anpassung dieser Schwellenwerte. Im Falle eines Betriebspunktes nahe der unteren Temperaturgrenze TSKMN (Punkt 106) erfolgt bei unzureichender  $\text{NO}_x$ -Speicher- und  $\text{NO}_x$ -Konvertierungsfähigkeit eine Anhebung des Schwellenwertes TSKMN. In diesem Fall ist jedoch bevorzugt vorgesehen, die Lage des Schwellenwertes TSKMN auch in Abhängigkeit eines mittels eines Diagnoseverfahrens ermittelten Al-

terungszustandes (irreversible Schädigungen) vorzugeben, da der einer Ansprings-temperatur des Katalysators entsprechende Schwellenwert TSKMN vorwiegend vom Alterungszustand abhängt.

**[0019]** Figur 3 zeigt ein Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß dem Betriebspunkt 100 der Figur 2. Der Verfahrensablauf lässt sich in zwei Hauptabschnitte gliedern, nämlich Überprüfung der  $\text{NO}_x$ -Speicher- und  $\text{NO}_x$ -Konvertierungsfähigkeit des Speicherkatalysators 20 und Festlegung der Schwellenwerte des Magerbetriebsbereiches einerseits (Schritte S1 bis S5) und Zulassung oder Sperrung des Magerbetriebs in einem aktuellen Betriebspunkt andererseits (S6 bis S11). Zunächst erfolgt in S1 eine Initialisierung, bei der unter anderem die Schwellenwerte für den Magerbetriebsbereich und ein Grenzwert für  $\text{NO}_x$ -Speicher- und  $\text{NO}_x$ -Konvertierungsfähigkeit des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 20 vorgegeben werden. Diese Vorgaben erfolgen anhand von Erfahrungswerten eines ungeschädigten und vollständig regenerierten Speicherkatalysators. In einer ersten Abfrage in S2 wird eine Überprüfung der Speicher- und Konvertierungsfähigkeit des Speicherkatalysators 20 vorgenommen. In diesem Beispiel erfolgt diese Überprüfung anhand einer in der vorausgegangenen Magerphase mittels des  $\text{NO}_x$ -Sensors 24 stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 20 gemessenen und aufintegrierten  $\text{NO}_x$ -Emission NOHK. Liegt diese  $\text{NO}_x$ -Emission NOHK oberhalb eines in S1 vorgegebenen Grenzwertes NOHKGW, wird in S3 der obere Schwellenwert NOREMX für die  $\text{NO}_x$ -Rohemission der Verbrennungskraftmaschine 10 um das Inkrement  $\Delta\text{NORE}$  abgesenkt. Es wird hier nämlich davon ausgegangen, dass der Schwellenwert NOREMX zu hoch angesetzt war und der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 20 aufgrund der hohen  $\text{NO}_x$ -Rohemission (vgl. Punkt 100 in Figur 2) keine ausreichende Speicherfähigkeit aufwies. Wird hingegen die Abfrage in S2 verneint und somit eine ausreichende  $\text{NO}_x$ -Speicher- und  $\text{NO}_x$ -Konvertierungsfähigkeit festgestellt, geht das Verfahren zu der Abfrage S4 über, wo überprüft wird, ob die  $\text{NO}_x$ -Rohemission NORE der vorausgegangenen Magerphase sehr dicht an der oberen Emissionsschwelle NOREMX lag. Wird diese Abfrage bejaht, wird die  $\text{NO}_x$ -Emissionsschwelle NOREMX in S5 um das Inkrement  $\Delta\text{NORE}$  erhöht. Durch die Schleife der Schritte S4 und S5 wird gewährleistet, dass der zulässige Magerbereich nicht unnötig eingeschränkt wird. Bei Verneinung der Abfrage in S4 erfolgt keine Variation der Emissionsschwelle NOREMX, diese wird vielmehr beibehalten.

**[0020]** In S6 wird eine aktuelle  $\text{NO}_x$ -Rohemission NOREF durch Messung der  $\text{NO}_x$ -Konzentration stromauf des Katalysatorsystems 18, 20 oder durch Berechnung anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10 ermittelt. Befindet sich die Verbrennungskraftmaschine 10 aktuell in einem stöchiometrischen oder mageren Betriebsmodus, wird für diese Berechnung ein magerer Betriebsmodus angenommen. Die Berechnung kann zum Beispiel anhand von

abgespeicherten Kennfeldern erfolgen, welche eine Information über die zu erwartende NO<sub>x</sub>-Rohemission in Abhängigkeit einer aktuellen Motordrehzahl und/oder Motorlast und/oder anderer betriebsrelevanter Größen enthalten. Zur Vermeidung dynamischer Effekte kann eine Mittelung der so ermittelten NO<sub>x</sub>-Rohemission NO-REF über eine Mindestzeit erfolgen. In einer Abfrage S7 wird überprüft, ob die in S6 ermittelte Rohemission NO-REF unterhalb des in S2 bis S5 festgelegten Emissionsschwellenwertes NOREM<sub>X</sub> liegt. Ist dies der Fall, wird in S8 die aktuelle Katalysatortemperatur TSK des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators 20 durch Messung oder Modellierung ermittelt. Anschließend wird in S9 abgefragt, ob diese aktuelle Katalysatortemperatur TSK im zulässigen Temperaturbereich liegt, das heißt größer ist als die untere Temperaturschwelle TSKMN und kleiner als die obere Temperaturschwelle TSKMX. Wird auch diese Abfrage bejaht, befindet sich der aktuelle Betriebspunkt der Verbrennungskraftmaschine 10 sowie der Abgasanlage 14 in dem für den Magerbetriebsmodus zulässigen Bereich. Folglich wird der Magerbetriebsmodus in S10 zugelassen. Bei Verneinung einer der Abfragen S7 und S9 liegt mindestens ein Betriebsparameter außerhalb des zulässigen Bereiches, so dass in S11 der Magerbetriebsbereich gesperrt wird und die Verbrennungskraftmaschine 10 mit einem stöchiometrischen oder fetten Luft-Kraftstoff-Gemisch beaufschlagt wird.

## BEZUGSZEICHENLISTE

### [0021]

10	Verbrennungskraftmaschine	
12	Zylinder	
14	Abgastrakt	
16	Abgaskanal	
18	Vorkatalysator	
20	NO <sub>x</sub> -Speicherkatalysator	
22	Lambdasonde	
24	Gassensor / NO <sub>x</sub> -Sensor	
26	Temperaturmessstelle	
28	Motorsteuerung	
$\lambda$	Luft-Kraftstoff-Verhältnis Lambda	
NOHK	NO <sub>x</sub> -Emission hinter NO <sub>x</sub> -Speicherkatalysator	45
NOHKGW	Grenzwert für die NO <sub>x</sub> -Emission	
NORE	NO <sub>x</sub> -Rohemission	
NOREF	aktuelle (gemessene oder modellierte) NO <sub>x</sub> -Rohemission	50
NOREM <sub>X</sub>	oberer Schwellenwert für die NO <sub>x</sub> -Rohemission	
$\Delta$ NORE	Inkrement des Schwellenwertes für die NO <sub>x</sub> -Rohemission	
TSK	Katalysatortemperatur des NO <sub>x</sub> -Speicherkatalysators	55
TSKMN	unterer Schwellenwert für die Katalysatortemperatur	

TSKMX oberer Schwellenwert für die Katalysatortemperatur

## 5 Patentansprüche

- Verfahren zur Steuerung eines Betriebsmodus einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine (10) mit einem Abgastrakt (14), der mindestens einen NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (20) und einem diesem nachgeschalteten Gassensor (24) umfasst, wobei
  - ein Magerbetriebsmodus der Verbrennungskraftmaschine (10) mit  $\lambda > 1$  in Abhängigkeit von vorgebbaren Schwellenwerten für eine Temperatur (TSK) des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) und für mindestens einen weiteren Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine (10) und/oder des Abgastraktes (14) zugelassen wird und
  - mindestens ein Schwellenwert in Abhängigkeit einer aktuellen NO<sub>x</sub>-Speicherund/oder NO<sub>x</sub>-Konvertierungsfähigkeit des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) variiert wird.
- Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mindestens eine weitere Betriebsparameter eine NO<sub>x</sub>-Rohemission (NORE) der Verbrennungskraftmaschine (10) und/oder eine Rohemission einer weiteren Abgaskomponente umfasst.
- Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die weitere Abgaskomponente unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) und/oder Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und/oder Kohlenmonoxid (CO) umfasst.
- Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die NO<sub>x</sub>-Rohemission (NORE) und/oder die Rohemission der weiteren Abgaskomponente gemessen oder in Abhängigkeit eines Betriebspunktes der Verbrennungskraftmaschine (10) unter Annahme des Magerbetriebsmodus modelliert wird.
- Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rohemission eine Konzentration und/oder ein Massenstrom von NO<sub>x</sub> oder der anderen Abgaskomponente stromauf eines ersten, der Verbrennungskraftmaschine (10) nachgeschalteten Katalysators (18) umfasst.
- Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Temperatur (TSK) des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) ei-

ne lokale Temperatur einer Katalysatorbeschichtung und/oder eines Katalysatorträgers und/oder eine Temperaturverteilung umfasst.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Temperatur (TSK) mittels einer stromauf und/oder stromab und/oder im NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (20) angeordneten Temperaturmessstelle (26) gemessen und/oder in Abhängigkeit eines Betriebspunktes der Verbrennungskraftmaschine (10) berechnet wird. 5
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Variation des mindestens einen Schwellenwertes erfolgt, wenn die NO<sub>x</sub>-Speicher- und/oder NO<sub>x</sub>-Konvertierungsfähigkeit des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet. 10
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Magerbetrieb abhängig von einem stromab des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) gemessenen NO<sub>x</sub>-Gehalt im Abgas gesteuert wird und die NO<sub>x</sub>-Speicher- und/oder NO<sub>x</sub>-Konvertierungsfähigkeit des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) anhand einer Dauer mindestens einer vorausgegangenen Magerbetriebsphase und/oder anhand des gemessenen NO<sub>x</sub>-Gehaltes oder dessen Verlauf bestimmt wird. 15
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine NO<sub>x</sub>-Regeneration abhängig von einem stromab des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) gemessenen Sauerstoffgehalt im Abgas gesteuert wird und die NO<sub>x</sub>-Speicher- und/oder NO<sub>x</sub>-Konvertierungsfähigkeit des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) anhand einer Dauer mindestens einer vorausgegangenen NO<sub>x</sub>-Regenerationsphase und/oder anhand des gemessenen Sauerstoffgehaltes oder dessen Verlauf bestimmt wird. 20
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die NO<sub>x</sub>-Speicher- und/oder NO<sub>x</sub>-Konvertierungsfähigkeit des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) anhand eines Kraftstoffverbrauches und/oder anhand einer Häufigkeit der NO<sub>x</sub>-Regeneration bestimmt wird. 25
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** derjenige Schwellenwert eines Betriebsparameters der Verbrennungskraftmaschine (10) und/oder des Abgastraktes (14) variiert wird, in dessen Bereich sich ein Betriebszustand während der vorausgegangenen Magerbetriebsphase befand. 30
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein oberer Schwellenwert (NO- 35

REMX) für eine für den Magerbetriebsmodus zulässige NO<sub>x</sub>-Rohemission (NORE) abgesenkt wird, wenn während der vorausgegangenen Magerbetriebsphase die NO<sub>x</sub>-Rohemission (NORE) der Verbrennungskraftmaschine (10) sich im Bereich des oberen Schwellenwertes (NOREMX) befand und die NO<sub>x</sub>-Speicher- und/oder NO<sub>x</sub>-Konvertierungsfähigkeit des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) den vorgegebenen Grenzwert unterschreitet.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein oberer Schwellenwert (TSKMX) für eine für den Magerbetriebsmodus zulässige Katalysatortemperatur (TSK) des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) abgesenkt wird, wenn während der vorausgegangenen Magerbetriebsphase die Katalysatortemperatur (TSK) sich im Bereich des oberen Schwellenwertes (TSKMX) befand und die NO<sub>x</sub>-Speicher- und/oder NO<sub>x</sub>-Konvertierungsfähigkeit des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) den vorgegebenen Grenzwert unterschreitet. 40
15. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein unterer Schwellenwert (TSKMN) für eine für den Magerbetriebsmodus zulässige Katalysatortemperatur (TSK) des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) angehoben wird, wenn während der vorausgegangenen Magerbetriebsphase die Katalysatortemperatur (TSK) sich im Bereich des unteren Schwellenwertes (TSKMN) befand und die NO<sub>x</sub>-Speicher- und/oder NO<sub>x</sub>-Konvertierungsfähigkeit des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) den vorgegebenen Grenzwert unterschreitet oder eine gemessene oder berechnete irreversible Schädigung des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) festgestellt wird. 45
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Magerbetriebsmodus zugelassen wird, wenn die aktuelle Katalysatortemperatur (TSK) des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (20) größer als der untere Temperaturschwellenwert (TSKMN) und kleiner als der obere Temperaturschwellenwert (TSKMX) ist. 50
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Magerbetriebsmodus zugelassen wird, wenn die aktuelle, gemessene oder unter Annahme eines mageren Betriebs berechnete NO<sub>x</sub>-Rohemission (NORE) der Verbrennungskraftmaschine (10) den oberen Schwellenwert (NOREMX) für die NO<sub>x</sub>-Rohemission unterschreitet. 55
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbrennungskraftmaschine (10) über eine Kraftstoffdirekteinjection verfügt und im Magerbetriebsmodus

schichtladefähig ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55



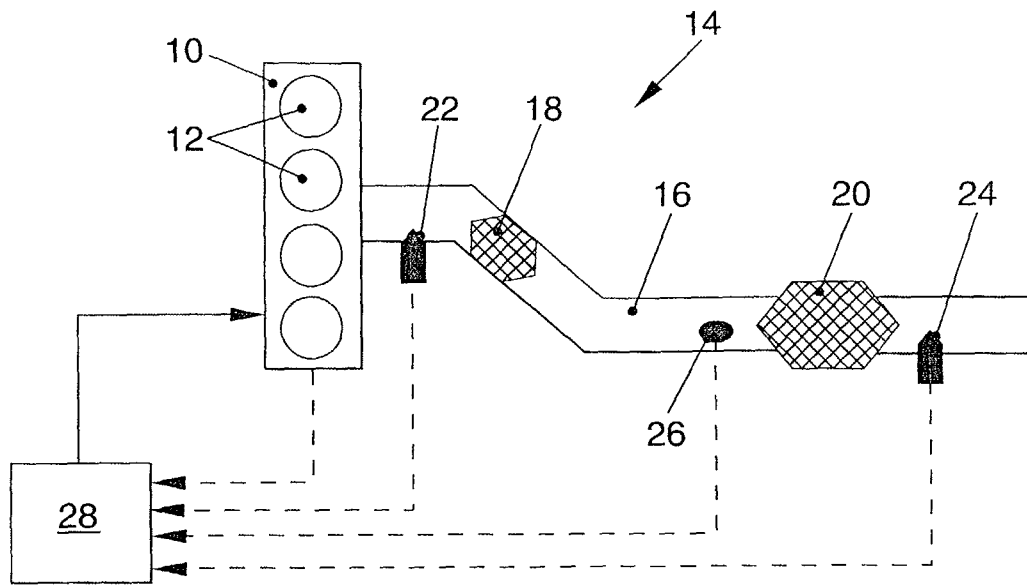


FIG. 1

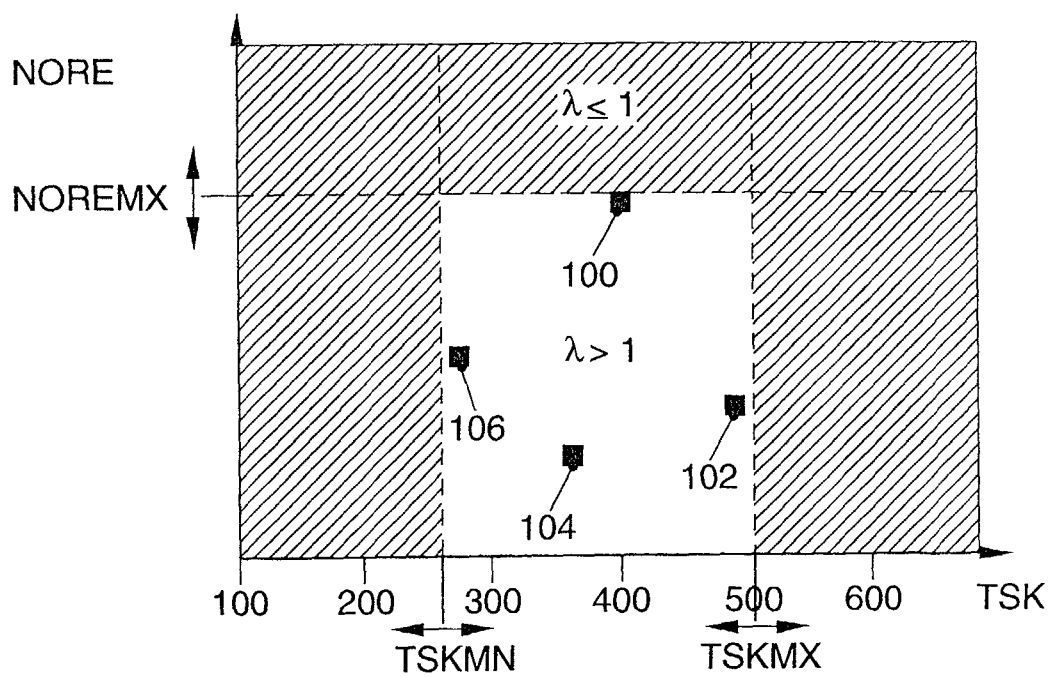


FIG. 2

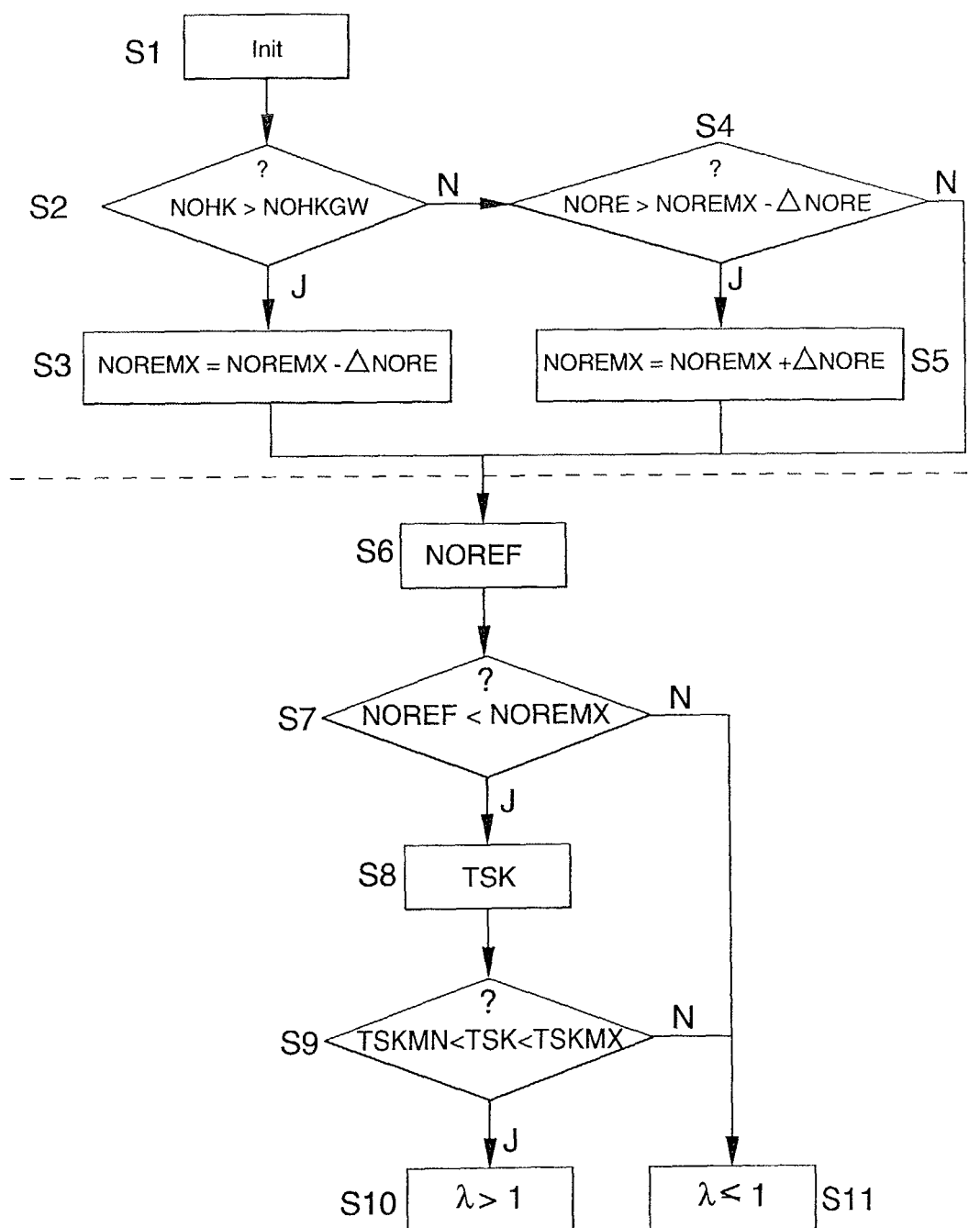


FIG. 3