



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 28 856 B4** 2006.09.28

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 28 856.2**  
 (22) Anmeldetag: **26.06.2003**  
 (43) Offenlegungstag: **18.03.2004**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **28.09.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F01N 3/10** (2006.01)  
**F01N 9/00** (2006.01)  
**B01D 53/86** (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. 2 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**10-064,957**      **04.09.2002**      **US**

(73) Patentinhaber:  
**Ford Global Technologies, LLC (n.d.Ges.d.  
 Staates Delaware), Dearborn, Mich., US**

(74) Vertreter:  
**Rechts- und Patentanwälte Lorenz Seidler Gossel,  
 80538 München**

(72) Erfinder:  
**Mazur, Christopher John, Canton, Mich., US;  
 Upadhyay, Devesh, Dearborn, Mich., US**

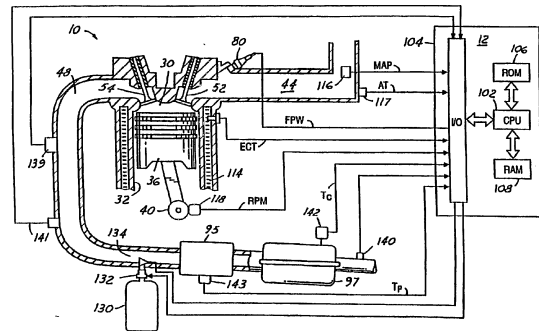
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**DE 299 23 945 U1**  
**US 58 91 409 A**

(54) Bezeichnung: **Steuerung und Diagnose von Abgasemissionen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Regelung einer Reduktanteinspritzung in ein Auspuffsystem eines Motors (10), welcher einen stromauf gelegenen Oxidationskatalysator (95) und einen stromab gelegenen Lean-NO<sub>x</sub>-Katalysator (97) aufweist, wobei das Verfahren umfaßt:

Bestimmen einer Menge von den stromauf gelegenen Oxidationskatalysator (95) verlassendem NO<sub>x</sub>,  
 Berechnung eines Verhältnisses von NO zu NO<sub>2</sub>, die in der genannten Menge von austretendem NO<sub>x</sub> enthalten sind,  
 Berechnen einer Menge von auf der Grundlage der genannten NO<sub>x</sub>-Menge und des genannten Verhältnisses einzuspritzendem Reduktant; und

Anpassen eines Signals zur Steuerung des eingespritzten Reduktant auf der Grundlage der genannten berechneten Menge von einzuspritzendem Reduktant.



**Beschreibung**

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die selektive katalytische Reduktion und insbesondere auf Verfahren und Systeme zur Regelung solcher katalytischen Reduktionen sowie Abgasreinigungssysteme von Innenverbrennungsdieselmotoren.

## Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Innenverbrennungsdieselmotoren arbeiten üblicherweise vorrangig mit einem mageren als dem stöchiometrischen Gemisch. Entsprechend wurden verschiedene Abgasreinigungsvorrichtungen verwendet, um die durch den Motorbetrieb erzeugten  $\text{NO}_x$ -Emissionen zu mindern. Eine solche Vorrichtung ist ein Lean- $\text{NO}_x$ -Katalysator. Ein Beispiel eines solchen Katalysators ist ein Katalysator mit selektiver katalytischer Reduktion (SCR), der ein Reduktant, wie z.B. Ammoniak oder Harnstoff, verwendet, um in einer sauerstoffreichen Atmosphäre  $\text{NO}_x$  zu reduzieren. Andere Lean- $\text{NO}_x$ -Katalysatoren verwenden andere Reduktanten, wie z.B. Dieselkraftstoff oder sonstige Kohlenwasserstoffe, die im Abgas vorhanden sind.

## Stand der Technik

**[0003]** Ein Verfahren zur Nutzung eines solchen Katalysators wird im US-Patent US 58 91 409 A beschrieben. Hier wird ein stromauf gelegener Oxidationskatalysator dazu verwendet, in Gegenwart von Sauerstoff  $\text{NO}$  in  $\text{NO}_2$  umzuwandeln. Anschließend wandelt ein stromab gelegener Katalysator  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  in Gegenwart von eingespritzten Kohlenwasserstoffen um.

## Aufgabenstellung

**[0004]** Die Erfinder haben einen Nachteil eines solchen Systems erkannt. Insbesondere haben die Erfinder festgestellt, daß solche katalytischen Systeme möglicherweise durch Schwefel beschädigt werden. Mit anderen Worten kann im Kraftstoff oder im Motoröl enthaltener Schwefel den Auspuffkatalysator erreichen und eine Qualitätsverschlechterung der aktiven Komponenten des Katalysators verursachen. Eine solche Qualitätsverschlechterung kann zu erhöhten Emissionen führen. Diese Qualitätsverschlechterung durch Schwefel wird des Weiteren durch das Verhältnis von  $\text{NO}$  zu  $\text{NO}_2$ , die in den Katalysator eintreten, beeinflusst. Mit anderen Worten kann, wenn ein SCR-Katalysator stromab eines Oxidationskatalysators betrieben wird, ein Gemisch, das hauptsächlich aus  $\text{NO}_2$  besteht, zu einer schnellen Qualitätsbeeinträchtigung und damit zu einem verschlechterten Emissionsverhalten führen.

**[0005]** Aus der DE 299 23 945 U1 ist weiterhin ein Dieselmotor bekannt, dessen Abgassystem einen Oxidationskatalysator sowie stromab desselben einen SCR-Katalysator umfaßt, wobei über einen Reduktionsmittelinjektor Reduktionsmittel wie Harnstoff eingespritzt werden kann. Die vorgenannte Problematik der Qualitätsbeeinträchtigung und damit eines verschlechterten Emissionsverhaltens stellt sich jedoch auch bei dieser vorbekannten Lösung.

## Zusammenfassung der Erfindung

**[0006]** Die vorgenannten Probleme werden durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche 1, 6, 11, 16 und 22 gelöst.

**[0007]** Nach einem Erfindungsaspekt wird ein Verfahren zur Regelung der Reduktanteinspritzung in ein Auspuffsystem eines Motors, welcher einen stromauf gelegenen Oxidationskatalysator und einen stromab gelegenen Lean- $\text{NO}_x$ -Katalysator aufweist, vorgeschlagen. Das Verfahren umfaßt: Bestimmen eines am Ausgang des stromauf gelegenen Oxidationskatalysators auftretenden Wertes von  $\text{NO}_x$ , Berechnen des Verhältnisses zwischen  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$  in dem genannten Werk der ausgestoßenen  $\text{NO}_x$ , Berechnen der einzuspritzenden Menge von Reduktanten auf der Grundlage des genannten zweiten  $\text{NO}_x$ -Wertes und des genannten Verhältnisses, und Anpassen eines Signals zur Regelung der eingespritzten Reduktantmenge auf der Grundlage der genannten berechneten einzuspritzenden Reduktantmenge.

**[0008]** Auf diese Weise erreicht die vorliegende Erfindung eine effiziente Nutzung von eingespritztem Reduktant, mit anderen Worten wurde erkannt, daß der Betrieb des stromauf gelegenen Oxidationskatalysators das in den stromab gelegenen Lean- $\text{NO}_x$ -Katalysator eintretende Verhältnis von  $\text{NO}$  zu  $\text{NO}_2$  beeinflusst. Durch Bestimmen dieses Verhältnisses und anschließende Regelung der Menge von eingespritztem Reduktant entsprechend diesem Verhältnis ist es demzufolge möglich, genauer zu bestimmen, wieviel Reduktant benötigt wird, um einen gewünschten  $\text{NO}_x$ -Wirkungsgrad zu erreichen.

**[0009]** Nach einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung werden die vorstehend beschriebenen Nachteile durch ein Verfahren zur Behandlung von Abgasen eines Innenverbrennungsmotors überwunden, welches Verfahren umfaßt: Verbrennen eines Schwefel enthaltenden Kraftstoffs, Aufrechterhalten des Verhältnisses von  $\text{NO}$  zu  $\text{NO}_2$  in den Abgasen innerhalb von 50 % eines Verhältnisses von 1:1 unter vorbestimmten Betriebsbedingungen, Zuleiten der genannten konstant gehaltenen Abgase und eines Reduktanten zu einem Lean- $\text{NO}_x$ -Katalysator in einem Motorauspuff, und Diagnostizieren der Verschlechterung der Abgasreinigung auf der Grundlage

eines Sensors, der die Abgase mißt.

**[0010]** Durch Aufrechterhalten eines Verhältnisses von NO zu NO<sub>2</sub> im Motor in der Nähe eines vorgewählten Verhältnisses (in diesem Beispiel ca. 1:1) ist es möglich, eine hochgradige Umwandlung sowohl von NO als auch von NO<sub>2</sub> auch bei Vorhandensein von Schwefel zu erreichen. Mit anderen Worten hat Schwefel nur eine minimale Auswirkung auf die NO<sub>x</sub>-Umwandlung im stromab gelegenen Katalysator, wenn die Abgase, wie oben beschrieben, konstant gehalten werden. Ein Vorteil des obigen Merkmals der Erfindung ist die Möglichkeit, Kraftstoff mit höheren Schwefelwerten zu tolerieren und gleichwohl ein robustes Abgasreinigungssystem zu liefern. Des weiteren kann, wenn das Verhältnis nicht aufrechterhalten wird, die Qualitätsbeeinträchtigung durch den Sensor erfaßt werden.

**[0011]** Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung kann die Qualitätsbeeinträchtigung der obigen Katalysatoranordnung durch ein Diagnosesystem für ein Abgassystem eines Diesel-Innenverbrennungsmotors entdeckt werden. Das System umfaßt dabei: einen stromauf gelegenen Oxidationskatalysator für die Umwandlung eines Teils von einströmendem NO in NO<sub>2</sub>, einen stromab gelegenen NO<sub>x</sub>-Katalysator für die Umwandlung wenigstens eines Teils der genannten NO und NO<sub>2</sub>, die den genannten stromauf gelegenen Oxidationskatalysator verlassen, in Stickstoff in Gegenwart eines Reduktanten, einen stromab vom genannten Lean-NO<sub>x</sub>-Katalysator angeschlossenen Sensor und ein Steuergerät für die Feststellung, ob der genannte stromauf gelegene Oxidationskatalysator ein am Ausgang ein vorgewähltes Verhältnis von NO zu NO<sub>2</sub> liefert, was auf der Grundlage mindestens des genannten Sensors bestimmt wird und der genannte stromauf gelegene Katalysator innerhalb eines vorbestimmten Temperaturbereiches befindlich ist, und für die Lieferung einer Angabe der Qualitätsbeeinträchtigung des genannten stromauf gelegenen Katalysators auf der Grundlage der genannten Feststellung.

**[0012]** Durch die Überwachung, ob das vorgewählte Verhältnis innerhalb akzeptabler Grenzen liegt, ist es möglich zu bestimmen, daß die Qualitätsbeeinträchtigung durch Schwefel im stromab gelegenen Katalysator entstehen kann, weil die Aufrechterhaltung des vorgewählten Verhältnisses zwischen NO und NO<sub>2</sub> schlechter wird. Mit anderen Worten kann mit der vorliegenden Erfindung erkannt werden, daß das Verhältnis von NO zu NO<sub>2</sub> bei den in dem stromab gelegenen Katalysator eintretenden Abgase geeignet ist, die NO<sub>x</sub>-Umwandlung zu beeinträchtigen und den stromab gelegenen Katalysator zu sulfatieren.

#### Ausführungsbeispiel

**[0013]** Weitere erfindungswesentliche Merkmale

gehen aus der nachfolgenden Beschreibung hervor, in der mit Bezug auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele erläutert werden. In den Zeichnungen zeigen:

**[0014]** [Fig. 1](#) ein schematisches Diagramm eines Motors, bei dem die Erfindung vorteilhafterweise genutzt wird, und

**[0015]** [Fig. 2](#) bis [Fig. 4](#) Graphiken mit der Darstellung von Testergebnissen im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung, und

**[0016]** [Fig. 5](#) ein Übersichtsflußdiagramm verschiedener durch einen Teil der in [Fig. 1](#) gezeigten Ausführungsform ausgeführten Vorgänge.

**[0017]** Der Innenverbrennungsmotor **10**, welcher eine Mehrzahl von Zylindern aufweist, von denen ein Zylinder in [Fig. 1](#) gezeigt wird, wird durch ein elektronisches Motorsteuergerät **12** gesteuert. Der Motor **10** weist einen Verbrennungsraum **30** und Zylinderwände **32** mit einem darin angeordneten und mit der Pleuellwelle **40** verbundenen Pleuellkopf **36** auf. Der Verbrennungsraum **30** steht mit einem Ansaugkrümmer **44** und einem Abgaskrümmer **48** über ein Einlaßventil **52** bzw. ein Auslaßventil **54** in Verbindung. Der Ansaugkrümmer **44** wird auch so dargestellt, daß mit ihm ein Kraftstoffinjektor **80** verbunden ist, um flüssigen Kraftstoff proportional zur Impulsbreite des Signals FPW aus dem Steuergerät **12** abzugeben. Die durch das Signal FPW gesteuerte Kraftstoffmenge und der Zündzeitpunkt sind beide einstellbar. Kraftstoff wird dem Kraftstoffinjektor **80** über ein an sich bekanntes (nicht gezeigtes) Diesel-Kraftstoffsystem, welches einen Kraftstofftank, eine Kraftstoffpumpe und ein (nicht gezeigtes) Kraftstoffverteilerrohr aufweist, zugeführt. Der in dem Kraftstoffsystem enthaltene Kraftstoff weist verschiedene Verunreinigungen auf und insbesondere unterschiedliche Mengen von Schwefel. Wie hierin beschrieben, führt Schwefel ständig zu Nachteilen im Zusammenhang mit der Beeinträchtigung von Katalysatoren durch Schwefel. Versuche, schwefelfreien Kraftstoff zu erhalten, waren bisher in den USA und in Europa erfolglos. Jedoch wurden erfindungsgemäß und wie hierin beschrieben ein System und ein Verfahren, bei denen die Wirkungen der Beeinträchtigung des Schwefels auf Katalysatoren minimiert werden können, gefunden und vorteilhaft genutzt.

**[0018]** Es wird erneut auf [Fig. 1](#) Bezug genommen. Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel kann der Motor so gestaltet sein, daß der Kraftstoff direkt in den Zylinder des Motors eingespritzt wird, was dem Fachmann als ein Motor mit Direkteinspritzung bekannt ist. Das heißt, der Injektor **80** würde so angeordnet sein, daß er Kraftstoff direkt in den Zylinder **30** einspritzt.

**[0019]** Ein Reduktionsmittel, beispielsweise Ammoniak, Harnstoff oder Dieseldieselkraftstoff, wird in einem mit dem Abgaskrümmen **48** stromauf vom ersten Katalysator **95** und vom zweiten Katalysator **97** verbundenen Speichergefäß **130** eingelagert. Zunächst ist der Katalysator **95** ein Oxidationskatalysator, der einen Teil des einströmenden NO in NO<sub>2</sub> verwandelt. Entsprechend ist Katalysator **97** ein Lean-NO<sub>x</sub>-Katalysator, welcher NO<sub>x</sub> in einer sauerstoffreichen Umgebung zu reduzieren vermag. In einem Beispiel ist der Katalysator **97** ein Harnstoff-SCR(selektive katalytische Reduktion)-Katalysator. Der Wirkungsgrad des Katalysators **97** nimmt in Gegenwart eines reduzierenden Wirkstoffes zu und schwankt, wie nachstehend hierin beschrieben, in der Temperatur.

**[0020]** Das Steuerventil **134** steuert die Menge des den in die Katalysatoren **95** und **97** eintretenden Abgasen hinzugefügten Reduktionsmittels. In einem Beispiel ist das Reduktionsmittel Ammoniak, eine Harnstofflösung oder Dieseldieselkraftstoff. Die Pumpe **132** setzt das dem Steuerventil **134** zugeführte Reduktionsmittel unter Druck. Die Pumpe **132** und das Steuerventil **134** werden beide durch das Steuergerät **12** gesteuert. Der NO<sub>x</sub>-Sensor **140** wird als stromab vom Katalysator **97** mit dem Auspuffkrümmen **48** verbunden dargestellt. Der Temperatursensor **142**, der mit dem Katalysator **97** verbunden ist, liefert eine Angabe der Temperatur (T) des Katalysators **97**. Alternativ kann die Katalysatortemperatur (T), wie später hierin unter besonderer Bezugnahme auf [Fig. 6](#) beschrieben, geschätzt werden. Analog kann die erste Katalysatortemperatur (Tp) aus dem Sensor **143** ausgelesen oder unter Verwendung von dem Fachmann bekannten, auf der Abgastemperatur beruhenden Verfahren geschätzt werden.

**[0021]** Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel kann der Reduktant nicht stromauf des Katalysators **97**, sondern stromab vom Katalysator **95** eingespritzt werden. In diesem Fall würde die Lage des Reduktantinjektors zwischen dem Katalysator **95** und dem Katalysator **97** liegen. Alternativ kann der Reduktantinjektor stromauf vom Oxidationskatalysator liegen.

**[0022]** Das Steuergerät **12** wird in [Fig. 1](#) als ein an sich bekannter Mikrocomputer gezeigt, welcher aufweist: eine Mikroprozessoreinheit **102**, Eingangs/Ausgangsanschlüsse **104**, einen elektronischen Speicherchip **106**, einen Direktzugriffsspeicher **108** und einen an sich bekannten Datenbus. Das Steuergerät **12** erhält zusätzlich zu den oben erörterten Signalen verschiedene Signale aus mit dem Motor **10** verbundenen Sensoren, hierin eingeschlossen: Motorkühlmitteltemperatur (ECT) aus dem mit einem Kühlmantel **114** verbundenen Temperatursensor **112**, eine Messung des Krümmen drucks (MAP) aus einem mit dem Ansaugkrümmen **44** verbundenen Krümmen drucksensor **116**, eine Messung (AT) des Krümmen drucks aus dem Temperatursensor **117**,

und ein Motordrehzahlsignal (RPM) aus dem mit der Kurbelwelle **40** verbundenen Motordrehzahlsensor **118**. Der stromauf gelegene NO<sub>x</sub>-Sensor **139** liefert auch ein Signal an das Steuergerät **12**, das eine Angabe der im Abgas erzeugten NO<sub>x</sub>-Menge (sowohl NO wie auch NO<sub>2</sub>) liefert. Alternativ kann dieser Sensor weggelassen werden, und das Steuergerät kann auf der Grundlage von Betriebsbedingungen, wie z.B. Motordrehzahl und Motorlast, eine Schätzung der durch den Motor erzeugten NO<sub>x</sub> generieren. Analog kann ein dritter NO<sub>x</sub>-Sensor **141** optional stromab vom Oxidationskatalysator und stromauf vom SCR-Katalysator angeordnet werden.

**[0023]** Wie im folgenden umfassender beschrieben, ist es durch Aufrechterhalten eines Verhältnisses von nahezu 1:1 zwischen NO und NO<sub>2</sub> vor dem Katalysator möglich, eine hohe Umwandlung sowohl von NO wie auch von NO<sub>2</sub> auch in Gegenwart von Schwefel zu erhalten. Mit anderen Worten wird die Qualitätsverschlechterung des Katalysators durch Schwefel verzögert, wenn die Abgase so, wie oben beschrieben, geführt werden. Ein Vorteil davon ist die Fähigkeit, Kraftstoff zu tolerieren, der höhere Schwefelwerte aufweist, und gleichzeitig kann nach wie vor ein robustes Abgasreinigungssystem geliefert werden. Zusätzlich bringt eine Zuführgas-NO<sub>x</sub>-Zusammensetzung von 50 % NO und 50 % NO<sub>2</sub> die schnellste NO<sub>x</sub>-Reduktionsreaktionsrate im SCR-Katalysator, wodurch die höchsten Werte von NO<sub>x</sub>-Umwandlungswirkungsgraden ermöglicht werden. Wenn jedoch der stromauf gelegene Oxidationskatalysator (der in einem Beispiel dieses bevorzugte Verhältnis zwischen NO und NO<sub>2</sub> stromauf vom SCR-Katalysator schafft) beeinträchtigt wird, dann kann eine Beeinträchtigung durch Schwefel im stromab gelegenen Katalysator eintreten.

**[0024]** [Fig. 2](#) zeigt experimentelle Daten eines SCR-Katalysators über verschiedene Temperaturen. Insbesondere zeigt die Figur NO<sub>x</sub>-Umwandlung von ungefähr 150°C bis ungefähr 550°C. Die durch eine Dreiecklinie angegebenen Datenpunkte zeigen NO-Umwandlung (NO<sub>2</sub>), die folgenden Datenpunkte, die durch eine Quadratlinie angegeben werden, zeigen NO<sub>x</sub>-Umwandlung für ein Gemisch von ungefähr 1:1 von NO:NO<sub>2</sub>. Entsprechend zeigt [Fig. 2](#), daß, indem im Abgas ein ungefähres molares Verhältnis zwischen NO und NO<sub>2</sub> von 1:1 gehalten wird, die NO<sub>x</sub>-Umwandlung optimiert werden kann.

**[0025]** [Fig. 3](#) zeigt die NO<sub>x</sub>-Umwandlung, wenn das Abgas lediglich NO enthält. Insbesondere zeigt die Figur die NO<sub>x</sub>-Umwandlung von NO mit und ohne Schwefel. Die durch die Dreiecklinie angegebenen Daten zeigen die Katalysatorleistung, wenn das eingeführte Gas NO und keinen Schwefel enthält. Die durch die Quadratlinie angegebenen Daten zeigen die Katalysatorleistung mit Schwefel. Wie die Daten angeben, beeinflusst Schwefel die NO<sub>x</sub>-Umwandlung

ungünstig, wenn das zugeführte Gas ausschließlich aus NO besteht.

**[0026]** [Fig. 4](#) zeigt die  $\text{NO}_x$ -Umwandlung mit und ohne Schwefel, wenn das Eingangsverhältnis zwischen NO und  $\text{NO}_2$  innerhalb eines vorbestimmten Bereichs gehalten wird (ca. 1:1). Die durch eine Rautenlinie angegebenen Daten stehen für Abgase ohne Schwefel, während die durch eine Quadratlinie angegebenen Daten für Schwefel enthaltende Abgase stehen. Wie [Fig. 4](#) zeigt, können die Auswirkungen von Schwefel auf die  $\text{NO}_x$ -Umwandlung reduziert werden, indem ein Verhältnis zwischen NO und  $\text{NO}_2$  von ca. 1:1 aufrechterhalten wird. Die Erfinder erkennen, daß bedeutende Vorteile auch dann noch erwartet werden können, wenn das Verhältnis zwischen NO und  $\text{NO}_2$  innerhalb von 50 % schwankt, jedoch kann ein Molarverhältnis von ca. 1:1 einen geforderten minimalen Wert von  $\text{NO}_2$  ergeben. Mit anderen Worten kann ein Verhältnis von bis zu 20:80, je nach Betriebsbedingungen, wie z.B. Temperatur, akzeptabel sein. Das heißt, es ist zwar wünschenswert, ein Verhältnis von nahezu 1:1 zu halten, es können aber gleichwohl vorteilhafte Ergebnisse erhalten werden, indem das Verhältnis innerhalb von ca. 50 % von 1:1 gehalten wird.

**[0027]** Wie oben in bezug auf [Fig. 1](#) beschrieben, verwendet die vorliegende Erfindung bei einer Ausführungsform einen stromauf gelegenen Oxidationskatalysator, um einen Teil des NO-Abgases in  $\text{NO}_2$  umzuwandeln. Insbesondere kann die Katalysatorzusammensetzung eingestellt werden, um sie an eine bestimmte Motorabgas-Charakteristik anzupassen. Auf diese Weise ist es möglich, zu erreichen, daß ein Verhältnis zwischen NO und  $\text{NO}_2$  von ca. 1:1 in den stromab gelegenen SCR-Katalysator eintritt. Es gibt jedoch weitere Verfahren, die verwendet werden können, um das gewünschte Verhältnis zwischen NO und  $\text{NO}_2$  bei dem in dem SCR-Katalysator eintretenden Gasen bereitzustellen. Beispielsweise kann bei dem System der stromauf gelegene Oxidationskatalysator weggelassen werden, und es können die Motorbetriebsbedingungen angepaßt werden, um das gewünschte Verhältnis zu liefern. Beispielsweise kann das Verhältnis dadurch erzielt werden, daß Parameter angepaßt werden, wie z.B. Abgasrückführungsmenge, Einspritzzeitpunkt, Luft-/Kraftstoffverhältnis oder sonstige Parameter bzw. Kombinationen dieser Parameter.

**[0028]** Wie oben beschrieben können verschiedene Verfahren verwendet werden, um zu versuchen, das gewünschte Verhältnis zwischen NO und  $\text{NO}_2$  am Eingang des SCR-Katalysators bereitzustellen. Aufgrund von Motoralterung, Fahrzeugalterung und verschiedener Umweltfaktoren können die Versuche, das gewünschte Verhältnis bereitzustellen, jedoch beeinträchtigt werden. Als Ergebnis kann die katalytische  $\text{NO}_x$ -Umwandlung des SCR-Katalysators mög-

licherweise gegenüber Beeinträchtigung durch Schwefel empfindlich werden. Als Ergebnis liefert die Erfindung ein Diagnoseverfahren für das Erfassen der Beeinträchtigung des Lean- $\text{NO}_x$ -Katalysators. Ein Ausführungsbeispiel eines solchen Diagnosesystems wird in [Fig. 5](#) beschrieben.

**[0029]** Unter Bezugnahme auf [Fig. 5](#) wird nun eine Routine für die Durchführung der Katalysatordiagnose beschrieben. Im Prinzip werden drei Flags in den Blöcken **510**, **512** bzw. **514** benutzt, um zu bestimmen, ob die Katalysatordiagnose zu aktivieren ist. Wenn das Ergebnis jedes dieser Flags angibt, daß eine Diagnose ausgeführt werden sollte, geht die Routine zu Block **516**. Die Details dieser Blöcke werden nachstehend beschrieben.

**[0030]** Es wird nun auf Block **510** Bezug genommen. Die Routine setzt das Flag Nr. 1 aufgrund einer Feststellung, ob die  $\text{NO}_x$ -Abgabe des Motors einem vorbestimmten Prozentsatz (X1) von NO entspricht. Insbesondere bestimmt die Routine im Schritt **5120** eine Schätzung des den Motor verlassenden NO auf der Grundlage von Motordrehzahl und Motorlast. Weiter bestimmt die Routine im Schritt **522** eine Schätzung des den Motor verlassenden  $\text{NO}_2$  auf der Grundlage von Motordrehzahl und Motorlast. Verschiedene weitere Parameter können auch bei diesen Motorkennfeldern genutzt werden, um vom Motor ausgestoßenes NO und  $\text{NO}_2$  zu bestimmen, wie z.B. Motortemperatur, Einspritzzeitpunkt, Luft-/Kraftstoffverhältnis und verschiedene weitere Parameter. Auf der Grundlage der geschätzten NO und  $\text{NO}_2$  bestimmt die Routine im Schritt **524**, ob das geschätzte Verhältnis zwischen NO und  $\text{NO}_2$  geringer oder gleich X1 ist. Lautet die Antwort im Schritt **524** „ja“, setzt die Routine das Flag 1 nicht, und die Routine endet. Lautet die Antwort im Schritt **522** „nein“, setzt die Routine das Flag Nr. 1, um Katalysatordiagnosen zu ermöglichen.

**[0031]** Es wird nun auf Block **512** Bezug genommen. Die Routine bestimmt jetzt, ob Flag Nr. 2 zu setzen ist. Allgemein stellt Block **512** sicher, daß die Temperatur des stromauf gelegenen Oxidationskatalysators innerhalb eines vorbestimmten Betriebsfensters liegt. Insbesondere bestimmt die Routine im Schritt **530**, ob die geschätzte Oxidationskatalysator-Temperatur oder die gemessene Oxidationskatalysator-Temperatur ( $T_{\text{oxid\_cat}}$ ) höher oder gleich hoch ist wie eine obere Schwellentemperatur (X3) und höher als ein vorbestimmter unterer Temperaturschwellenwert (X2). Lautet die Antwort im Schritt **530** „nein“, endet die Routine. Wenn dagegen die Antwort im Schritt **530** „ja“ lautet, setzt die Routine das Flag Nr. 2, um Katalysatordiagnosen zu ermöglichen.

**[0032]** Unter Bezugnahme auf Block **514** wird nun eine Routine für das Setzen des Flags Nr. 3 beschrieben. Allgemein stellt Block **514** sicher, daß die



NO<sub>x</sub>-Reduktion im Oxidationskatalysator aufgrund von Restkohlenwasserstoffen geringer ist als ein vorbestimmter Wert. Insbesondere ermittelt die Routine im Schritt **540** eine Schätzung von Restkohlenwasserstoffen auf der Grundlage von Motordrehzahl und Motorlast. Wie oben hinsichtlich der Schritte **520** und **522** beschrieben, können in diesem Motorkennfeld verschiedene andere Parameter verwendet werden. Anschließend bestimmt die Routine im Schritt **542**, ob diese Kohlenwasserstoffmenge (HC) geringer ist als ein vorbestimmter Kohlenwasserstoffschwellenwert (X4). Lautet die Antwort im Schritt **542** „nein“, endet die Routine. Wenn die Antwort im Schritt **542** „ja“ lautet, setzt die Routine das Flag Nr. 3, um Katalysator Diagnosen zu ermöglichen.

**[0033]** Wenn sämtliche Flags 1, 2 und 3 gesetzt werden, um Katalysator Diagnosen zu ermöglichen, geht die Routine weiter zu Block **516**.

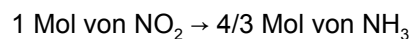
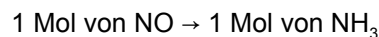
**[0034]** Zunächst verwendet die Routine im Schritt **550** den NO<sub>x</sub>-Sensorwert des stromauf gelegenen NO<sub>x</sub>-Sensors (β) und die Empfindlichkeit des Sensors (ξ), um eine Schätzung des Wertes des stromab gelegenen NO<sub>x</sub>-Sensors (γ1) zu berechnen. Anschließend bestimmt die Routine im Schritt **552**, ob diese Schätzung des stromab gelegenen NO<sub>x</sub>-Sensorwertes größer ist als der tatsächliche stromab festgestellte NO<sub>x</sub>-Sensorwert (γ2). Lautet die Antwort im Schritt **552** „ja“, zeigt die Routine eine Beeinträchtigung des Abgassystems an. Ansonsten endet die Routine.

**[0035]** Des Weiteren wird bei einem alternativen Ausführungsbeispiel erfindungsgemäß ein Zähler verwendet, der bei jeder Bestimmung von „ja“ im Schritt **572** inkrementiert wird. Wenn dann der Zähler einen vorbestimmten Zählerwert erreicht, wird eine Qualitätsverschlechterung des Katalysatorsystems beispielsweise über eine Kontrollampe im Armaturenbrett des Fahrzeuges angezeigt.

**[0036]** Mit anderen Worten löst die vorliegende Erfindung das Problem, das darin besteht, daß NO<sub>x</sub>-Sensoren nicht zwischen NO und NO<sub>2</sub> zu unterscheiden vermögen. Noch anders gesagt, ist es durch Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens möglich, die Grenze der Auslesung des stromab gelegenen NO<sub>x</sub>-Sensors zu berechnen, wenn das Verhältnis zwischen NO und NO<sub>2</sub> ungefähr in der Nähe von 1:1 gehalten wird, da die NO<sub>x</sub>-Sensoren aufgrund von chemischen Abläufen (masked fusion principles) verschiedene Empfindlichkeiten gegenüber NO und NO<sub>2</sub> aufweisen können. Des Weiteren wird der Fachmann angesichts der vorliegenden Erfindung erkennen, daß bei einem alternativen Ausführungsbeispiel der stromauf gelegene NO<sub>x</sub>-Sensor durch auf Motorbetriebsbedingungen, wie z.B. Motordrehzahl und -last, beruhenden Schätzungen des zugeführten NO<sub>x</sub>-Gases ersetzt werden kann.

**[0037]** Die Steuerung des eingespritzten Reduktanten, im vorliegenden Beispiel Harnstoff, wird nach dem folgenden Ansatz ausgeführt. Um die einzuspritzende Harnstoffmenge zu bestimmen, wird das Verhältnis zwischen NO:NO<sub>x</sub> nach dem Oxidationskatalysator mit (x) bezeichnet, das zwischen 0 und 1 liegt. Des Weiteren werden die NO<sub>x</sub>-Werte stromauf und stromab vom Oxidationskatalysator als B bzw. G bezeichnet. Dementsprechend wäre die theoretische Auslesung des stromab gelegenen Sensors  $x \cdot B + (1 - x) \cdot B \cdot E$ , worin E die Empfindlichkeit des Sensors gegenüber NO<sub>2</sub> ist. Die gemessenen NO<sub>x</sub> aus dem stromab gelegenen Sensor können als G<sub>m</sub> bezeichnet werden. Daraus folgt:  $x \cdot B + (1 - x) \cdot B \cdot E = G_m$ . Eine Umstellung ergibt:  $x = (G_m + E \cdot B) / (B \cdot (1 - E))$ . Damit kann der NO<sub>x</sub>-Wert B entweder gemessen oder aufgrund von Motorbetriebsbedingungen geschätzt werden, und der Wert E wird aufgrund der Charakteristika der Sensorkonstruktion bestimmt, beispielsweise aufgrund der Sensorspezifikation. Wenn entsprechend der Wert x (der dem Verhältnis zwischen NO und NO<sub>2</sub> am Eingang des SCR-Katalysators entspricht) ist, kann die stöchiometrische Reduktantmenge, beispielsweise Harnstoffmenge, bestimmt und eingespritzt werden.

**[0038]** Wenn beispielsweise eine 32,5 %ige wäßrige Lösung von Harnstoff angenommen wird, können die folgenden stöchiometrischen Reaktionen angenommen werden:



**[0039]** Diese Berechnungen ergeben einen erforderlichen Massenstrom von Harnstoff in mg/sec als:

$$\text{Massenstrom\_Harnstoff} = .0177 (\text{PN-Ox-Massenflu\ss\_Auspu\ff\_Gas}) \cdot (4 - x),$$

worin wie oben x das molare Konzentrationsverhältnis von NO zu NO<sub>2</sub> in dem in den SCR-Katalysator eintretenden Abgasstrom, PNO<sub>x</sub> die Abgas-NO<sub>x</sub>-Konzentration in PPM und Massenfluß\_Auspuff\_Gas die Massenflußrate von Abgasen in KG/min ist.

**[0040]** Der Steuerungsansatz wird spezifisch in [Fig. 6](#) dargestellt. Block **610** meldet den NO<sub>x</sub>-Wert des Zuführungsgases in PPM als Parameter B an Block **614**. Diese Zuführungsgas-NO<sub>x</sub>-Menge kann entweder gemessen oder geschätzt werden. Wenn sie geschätzt wird, kann die Menge als Funktion von Motordrehzahl und Motorlast in einem Kennfeld eingetragen und kalibriert werden.

**[0041]** Des Weiteren meldet Block **612** die Auslesung eines Sensors **141** als G<sub>m</sub> (die gemessenen NO<sub>x</sub> PPM) an Block **614**. Block **614** berechnet an-

schließlich den Wert  $x$  nach der oben abgeleiteten Gleichung und speist dann diesen Wert in Block **620** ein. Entsprechend berechnet Block **618** die Abgas-Massenflußrate basierend auf der Summe der Kraftstoffflußrate ( $mf$ ) und der Luftmassenflußrate ( $Maf$ ) und liefert diesen Wert an Block **620**. Block **620** berechnet die gewünschte Harnstoffflußrate  $massflow\_urea$  für die stöchiometrische Reaktion zwischen  $NO$ ,  $NO_2$  und Harnstoff. Diese gewünschte Flußrate wird durch einen Kalibrierwert in Block **622** angepaßt und dann dazu verwendet, um über das Ventil **134** den eingespritzten Harnstoff anzupassen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Reduktanteinspritzung in ein Auspuffsystem eines Motors (**10**), welcher einen stromauf gelegenen Oxidationskatalysator (**95**) und einen stromab gelegenen Lean- $NO_x$ -Katalysator (**97**) aufweist, wobei das Verfahren umfaßt:

Bestimmen einer Menge von den stromauf gelegenen Oxidationskatalysator (**95**) verlassendem  $NO_x$ , Berechnung eines Verhältnisses von  $NO$  zu  $NO_2$ , die in der genannten Menge von austretendem  $NO_x$  enthalten sind,

Berechnen einer Menge von auf der Grundlage der genannten  $NO_x$ -Menge und des genannten Verhältnisses einzuspritzendem Reduktant; und

Anpassen eines Signals zur Steuerung des eingespritzten Reduktant auf der Grundlage der genannten berechneten Menge von einzuspritzendem Reduktant.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das genannte Bestimmen der genannten Menge von austretendem  $NO_x$  das Auslesen eines  $NO_x$ -Wertes eines Sensors umfaßt, welcher stromauf vom genannten Lean- $NO_x$ -Katalysator (**97**) und stromab vom genannten Oxidationskatalysator (**95**) im Auspuffsystem angeschlossen ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das genannte Verhältnis von  $NO$  zu  $NO_2$  auf Grundlage von Motorbetriebsbedingungen berechnet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das genannte Berechnen des genannten Verhältnisses auf Grundlage einer  $NO_x$ -Menge in dem dem stromauf gelegenen Oxidationskatalysator (**95**) vom Motor (**10**) zugeführten Gas erfolgt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die genannte  $NO_x$ -Menge in dem dem stromauf gelegenen Oxidationskatalysator (**95**) vom Motor (**10**) zugeführten Gas aufgrund von Motordrehzahl und Motorlast berechnet wird.

6. System für ein Abgassystem eines Diesel-In-

nenverbrennungsmotors, welches System umfaßt: einen stromauf gelegenen Oxidationskatalysator (**95**) für die Umwandlung eines Teils von einströmendem  $NO$  in  $NO_2$ , einen stromab gelegenen Lean- $NO_x$ -SCR-Katalysator (**97**) für die Umwandlung mindestens eines Teils der den genannten stromauf gelegenen Oxidationskatalysator (**95**) verlassenden Komponenten  $NO$  und  $NO_2$  in Stickstoff in Gegenwart eines Reduktanten, ein stromauf vom genannten Lean- $NO_x$ -Katalysator (**97**) und stromab vom genannten stromauf gelegenen Oxidationskatalysator angeschlossenes Reduktanteinspritzsystem (**130**, **132**, **134**), einen stromauf mit dem genannten Lean- $NO_x$ -Katalysator (**97**) verbundenen Sensor (**141**), und ein Steuergerät (**12**) für die Bestimmung einer Menge von aus dem stromauf gelegenen Oxidationskatalysator (**95**) austretendem  $NO_x$ , für das Berechnen eines in der genannten Menge austretendem  $NO_x$  vorliegenden Verhältnisses von  $NO$  zu  $NO_2$  und für das Anpassen einer Menge von durch das genannte Reduktantsystem einzuspritzendem Reduktant auf der Grundlage der genannten  $NO_x$ -Menge und des genannten Verhältnisses.

7. System nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das genannte Steuergerät (**12**) des weiteren die Qualitätsbeeinträchtigung des stromauf gelegenen Oxidationskatalysators (**95**) auf der Grundlage des genannten Verhältnisses  $NO$  zu  $NO_2$  feststellt.

8. System nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß der genannte Sensor (**141**) ein  $NO_x$ -Sensor ist.

9. System nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der genannte Reduktant Harnstoff umfaßt.

10. System nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das genannte Reduktanteinspritzsystem ein Steuerventil (**134**) umfaßt, das durch ein Signal aus dem genannten Steuergerät (**12**) steuerbar ist.

11. Abgasreinigungsverfahren eines Innenverbrennungsmotors (**10**), welches Verfahren umfaßt: Verbrennen von Schwefel enthaltendem Kraftstoff, Aufrechterhalten eines Verhältnisses von  $NO$  zu  $NO_2$  im Abgas innerhalb von 50 % eines molaren Verhältnisses 1:1 nach vorbestimmten Betriebsbedingungen, Fließen des genannten aufrechterhaltenen Abgases und eines Reduktanten zu einem Lean- $NO_x$ -Katalysator (**97**) im Motorabgassystem, und Diagnose der Qualitätsbeeinträchtigung der Abgasreinigung auf der Grundlage eines Sensors (**141**), der das Abgas mißt.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß es des weiteren das Vorsehen eines stromauf gelegenen Katalysators (**95**) umfaßt.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß das genannte Aufrechterhalten des weiteren die Anpassung einer Abgasrückführungsmenge des Motors (**10**) umfaßt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der genannte Reduktant Harnstoff ist.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die genannten vorbestimmten Betriebsbedingungen Motordrehzahl, Motorlast und Temperatur umfassen.

16. System für die Reduzierung von Abgas-NO<sub>x</sub> eines Diesel-Innenverbrennungsmotors (**10**), welches System umfaßt:  
ein mit dem Motor (**10**) verbundenes Kraftstoffsystem für die Lieferung von Dieselkraftstoff, der Schwefel enthält, zur Verbrennung,  
einen stromauf gelegenen Oxidationskatalysator (**95**) für die Umwandlung eines ersten Teils von in das Verbrennungsgas eintretenden NO in NO<sub>2</sub>, um ein Verhältnis von NO zu NO<sub>2</sub> im austretenden Gas innerhalb von 50 % eines molaren Verhältnisses von 1:1 zu liefern,  
einen stromab gelegenen Lean-NO<sub>x</sub>-SCR-Katalysator (**97**) für die Umwandlung eines zweiten Teils von aus dem genannten stromauf gelegenen Oxidationskatalysator (**95**) austretenden NO und NO<sub>2</sub> in Gegenwart eines Reduktanten, und  
ein Diagnosesystem für die Feststellung der Beeinträchtigung der Qualität von dem genannten stromauf gelegenen Oxidationskatalysator (**95**) und/oder dem genannten stromab gelegenen Lean-NO<sub>x</sub>-SCR-Katalysator (**97**).

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der stromab gelegene Katalysator (**97**) das genannte NO in NO<sub>2</sub> mit Abgas mit einem mageren Luft-/Kraftstoffverhältnis umwandelt.

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß der genannte Reduktant Harnstoff ist.

19. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß es des weiteren einen stromab vom genannten stromab gelegenen Lean-NO<sub>x</sub>-Katalysator angeordneten NO<sub>x</sub>-Sensor umfaßt.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß es des weiteren einen zwischen dem genannten stromauf gelegenen Oxidationskatalysator (**95**) und dem genannten stromab gelegenen Lean-NO<sub>x</sub>-Katalysator (**97**) angeordneten weiteren

NO<sub>x</sub>-Sensor umfaßt.

21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß es des weiteren ein Diagnosesteuergerät (**12**) für die Feststellung aufgrund der genannten ersten und zweiten NO<sub>x</sub>-Sensoren umfaßt, ob der genannte stromab gelegene Katalysator mit Schwefel kontaminiert ist.

22. System für die Reduzierung von Abgas-NO<sub>x</sub> eines Diesel-Innenverbrennungsmotors (**10**), welches System umfaßt:  
ein mit dem Motor (**10**) verbundenes Kraftstoffsystem für die Lieferung von Dieselkraftstoff, der Schwefel enthält, zur Verbrennung,  
einen stromauf gelegenen Oxidationskatalysator (**95**) für die Umwandlung eines ersten Teils von in das Verbrennungsgas eintretenden NO in NO<sub>2</sub>, um ein Verhältnis von NO zu NO<sub>2</sub> im austretenden Gas innerhalb von 50 % eines molaren Verhältnisses von 1:1 zu liefern,  
einen stromab gelegenen Lean-NO<sub>x</sub>-SCR-Katalysator (**97**) für die Umwandlung eines zweiten Teils von aus dem genannten stromauf gelegenen Oxidationskatalysator austretenden NO und NO<sub>2</sub> in Gegenwart eines Reduktanten, und  
ein Steuergerät (**12**) für die Bestimmung einer Menge von zwischen dem genannten stromauf gelegenen und dem genannten stromab gelegenen Katalysator (**95**, **97**) einzuspritzendem Reduktant auf der Grundlage einer Schätzung des aktuellen Verhältnisses von NO zu NO<sub>2</sub>.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen



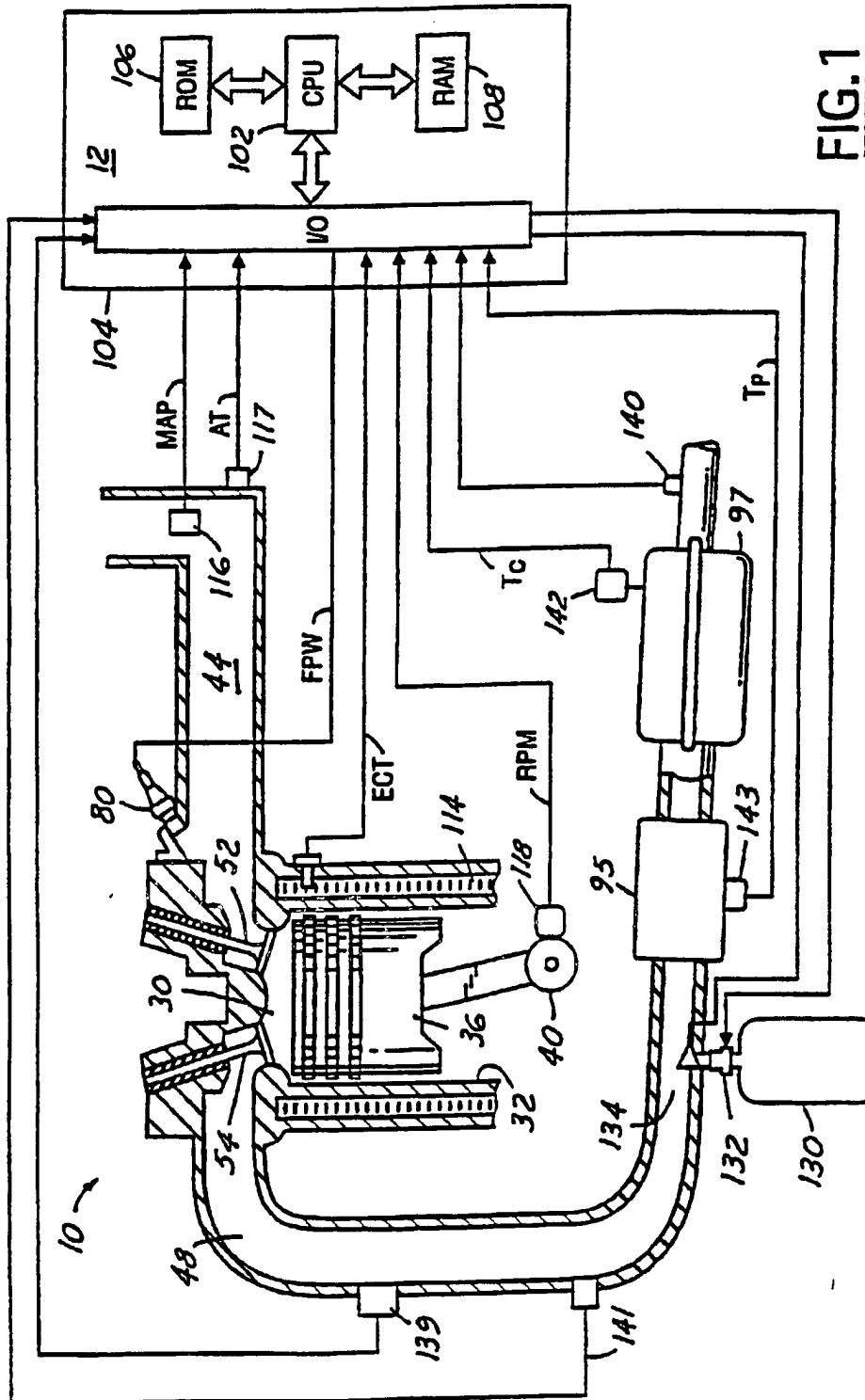
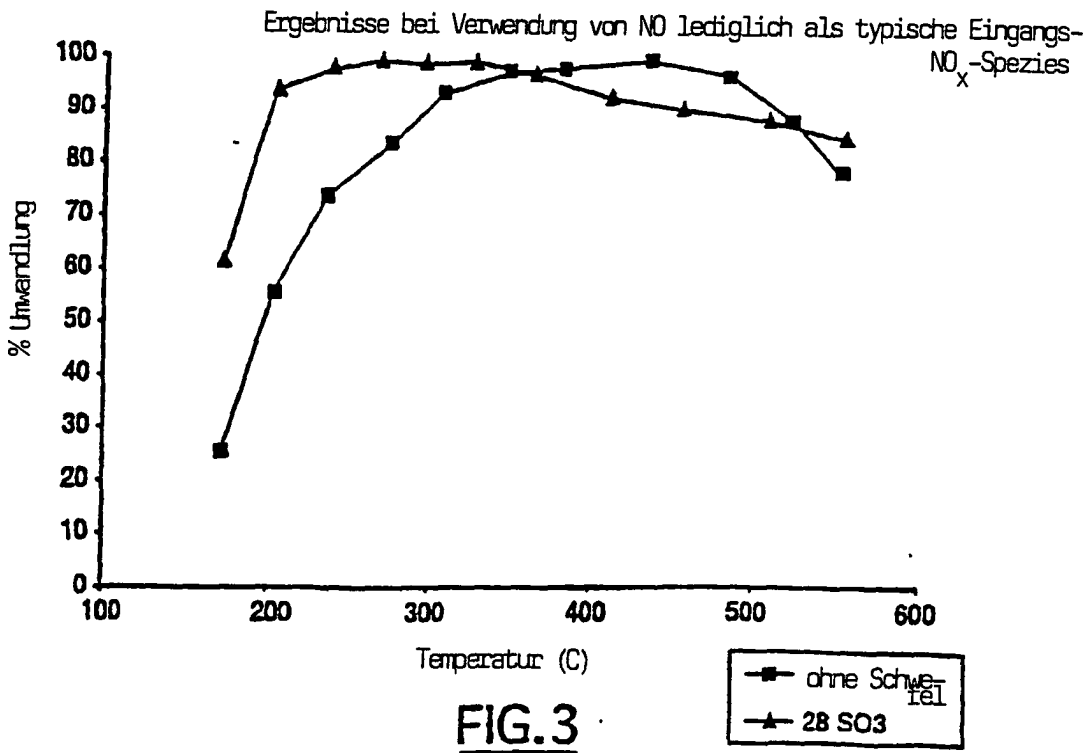
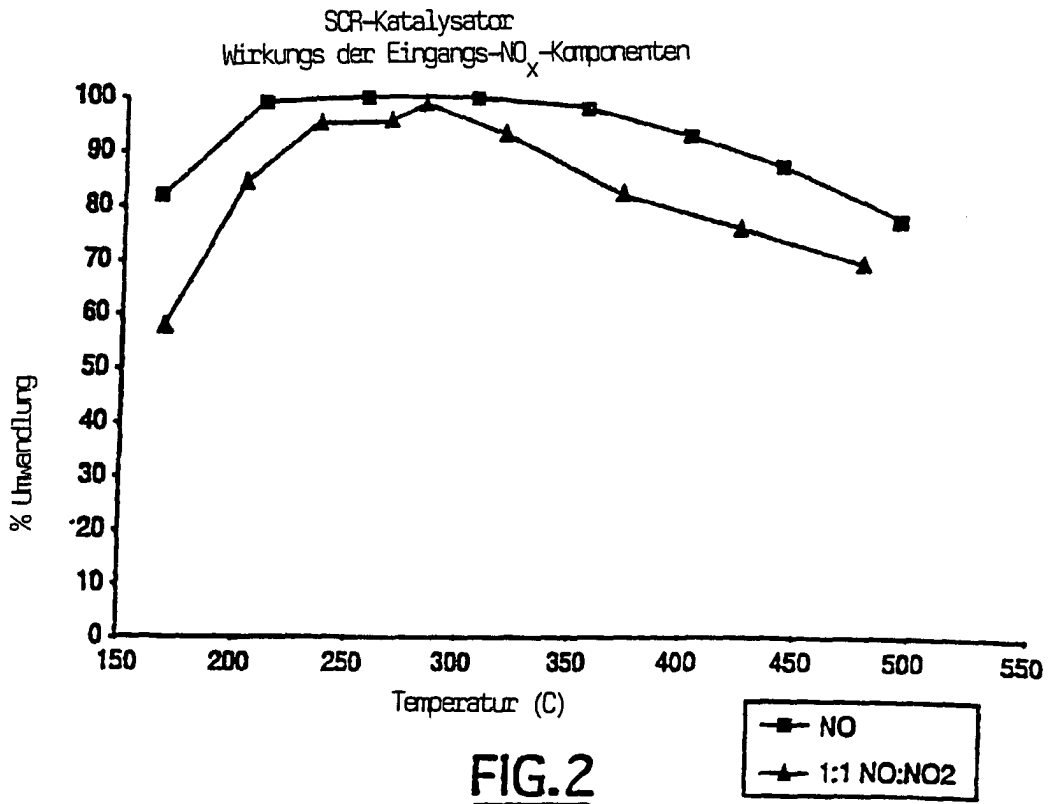


FIG. 1



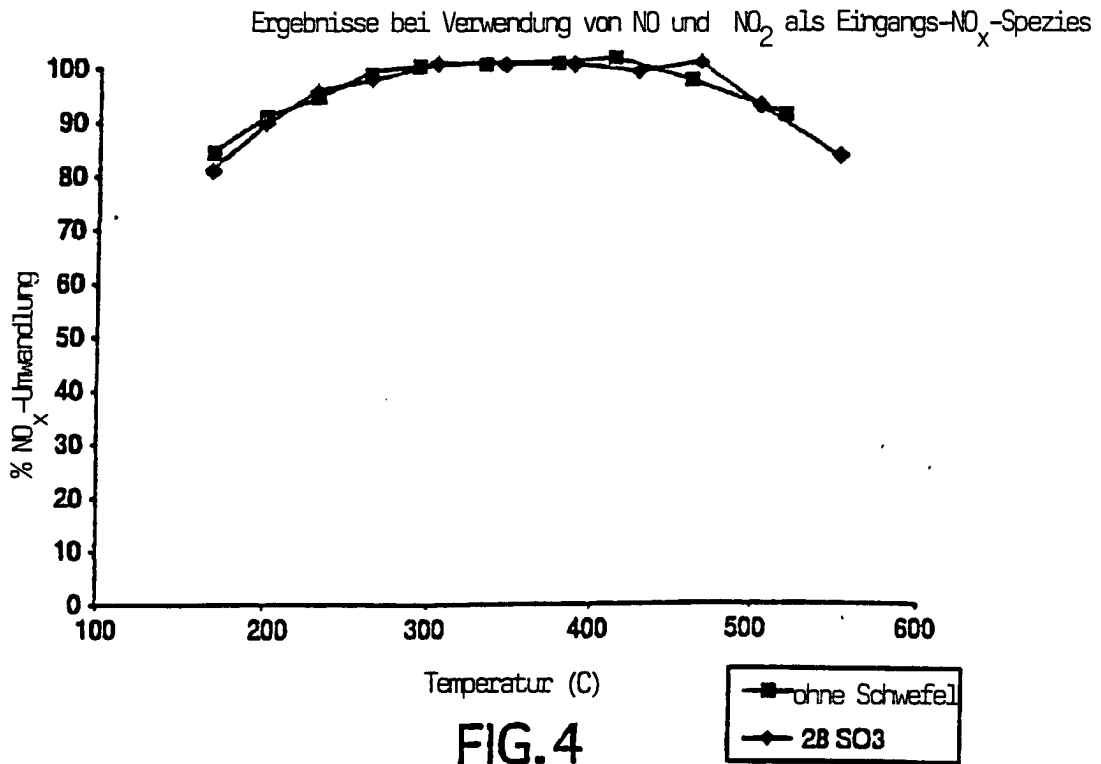


FIG. 4

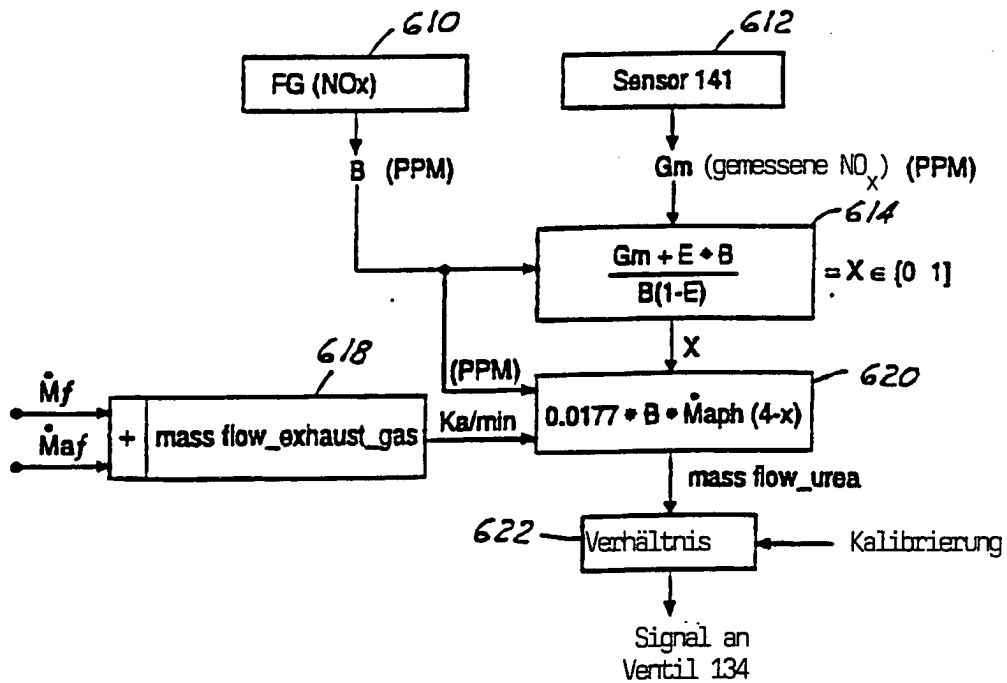


FIG. 6

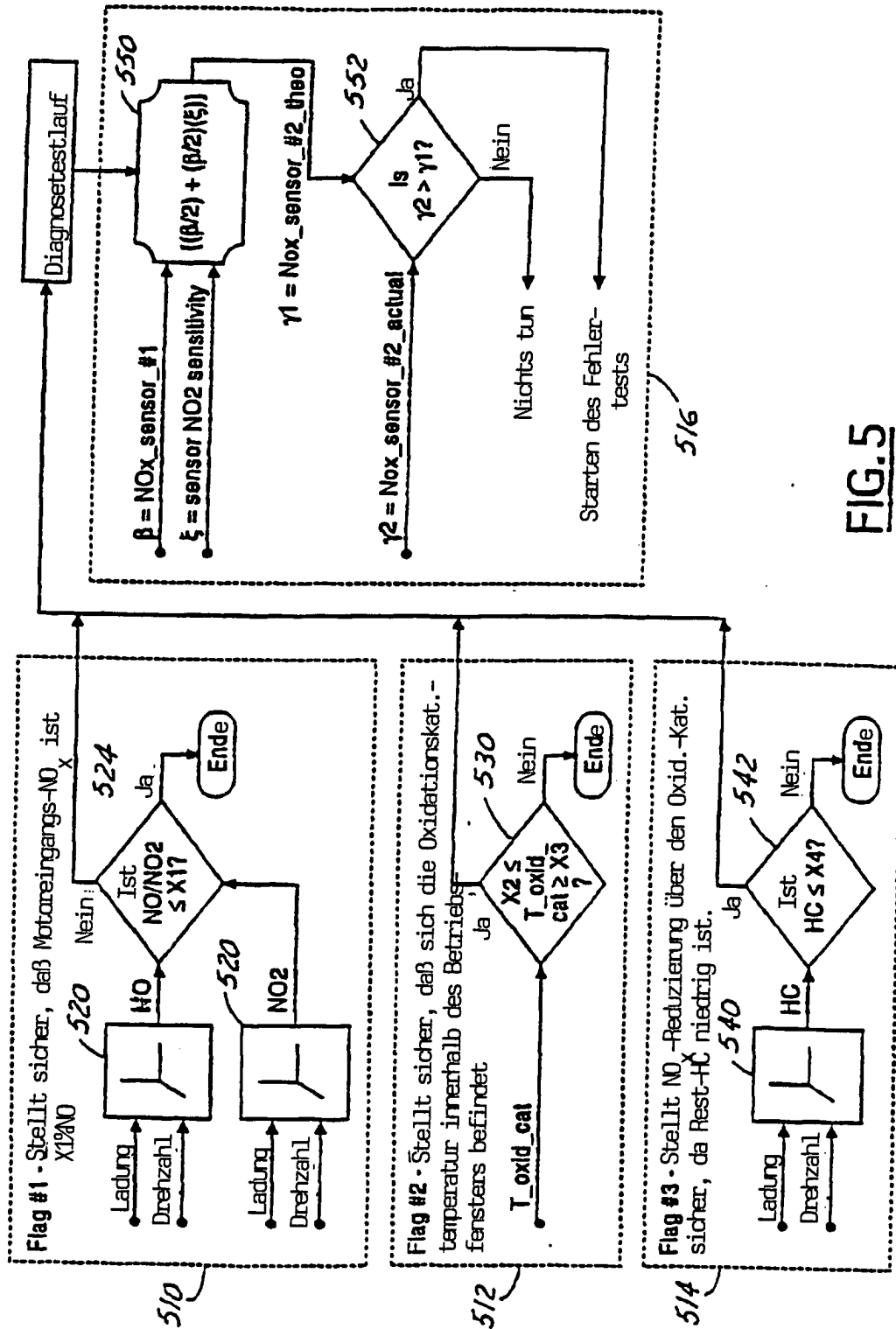


FIG. 5