(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2009 007 765 A1** 2010.08.12

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 007 765.0**
(22) Anmeldetag: **06.02.2009**
(43) Offenlegungstag: **12.08.2010**

(51) Int Cl.[8]: ***F01N 9/00*** (2006.01)
F01N 3/10 (2006.01)
F02D 41/06 (2006.01)

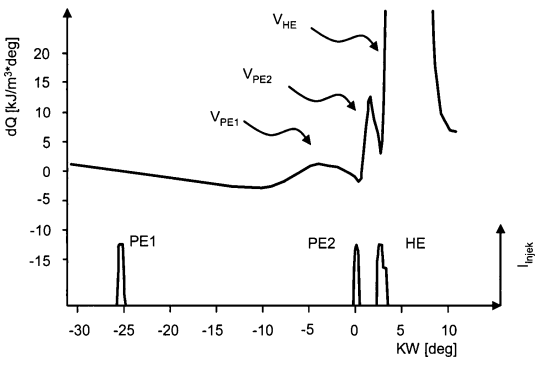
(71) Anmelder:
Daimler AG, 70327 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Koch, Thomas, Dr.-Ing., 71034 Böblingen, DE;
Massner, Alexander, Dipl.-Ing., 73730 Esslingen, DE;
Güthenke, Anke, Dr.-Ing., 70469 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einer einen SCR-Katalysator umfassenden Abgasreinigungsanlage**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einer einen SCR-Katalystor umfassenden Abgasreinigungsanlage.
Bei dem Verfahren wird in Verbindung mit einem Kaltstart und/oder einem Warmlauf der Brennkraftmaschine (1) die Brennkraftmaschine (1) mit einem Kaltstartmotorbetriebsverfahren mit vorgebbaren Werten für vorgebbare Brennkraftmaschinenbetriebsgrößen betrieben.
Erfindungsgemäß erfolgt eine Abschätzung einer Stickoxid-Speichermenge von im SCR-Katalysator (8) gespeicherten Stickoxiden und das Kaltstartmotorbetriebsverfahren wird aktiviert, wenn die Abschätzung ergibt, dass die Stickoxid-Speichermenge einen vorgebbaren Stickoxid-Speichermengengrenzwert überschreitet.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einer einen SCR-Katalysator umfassenden Abgasreinigungsanlage nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Bei Brennkraftmaschinen mit einer einen SCR-Katalysator umfassenden Abgasreinigungsanlage besteht allgemein das Bedürfnis, dass der SCR-Katalysator möglichst rasch seine zur Stickoxidverminderung erforderliche Betriebstemperatur erreicht. Hierzu wird in der DE 197 49 400 A1 vorgeschlagen, einen Wirkungsgrad für den SCR-Katalysator zu bestimmen und für den Fall, dass dieser beispielsweise bei einem Warmlauf der Brennkraftmaschine einen vorbestimmten Wert unterschreitet, bestimmte Brennkraftmaschinenbetriebsgrößen so zu verändern, dass der Stickoxid-Gehalt im unbehandelten Abgas verringert und die Abgastemperatur und damit die Temperatur des SCR-Katalysators erhöht wird. Allerdings kann insbesondere in Verbindung mit einem Kaltstart bzw. Warmlauf der Brennkraftmaschine eine Aufheizung des SCR-Katalysators auch bei einem tolerierbaren Wert für die Gesamtemission von Stickoxiden (NOx) zu einer unerwünscht hohen Emission von besonders schädlichem Stickstoffdioxid (NO_2) führen.

[0003] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einer einen SCR-Katalysator umfassenden Abgasreinigungsanlage anzugeben, bei welchem eine Abgabe von NO_2 an die Umgebung insbesondere in Verbindung mit einem Kaltstart bzw. einem Warmlauf der Brennkraftmaschine zuverlässig auf tolerierbar niedrige Werte begrenzt ist.

[0004] Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0005] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einer einen SCR-Katalysator umfassenden Abgasreinigungsanlage erfolgt eine Abschätzung einer Stickoxid-Speichermenge von im SCR-Katalysator gespeicherten Stickoxiden, und die Brennkraftmaschine wird mit einem Kaltstartmotorbetriebsverfahren mit vorgebbaren Werten für vorgebbare Brennkraftmaschinenbetriebsgrößen betrieben, wenn die Abschätzung ergibt, dass die Stickoxid-Speichermenge einen vorgebbaren Stickoxid-Speichermengengrenzwert überschreitet. Das für den Fall einer den Stickoxid-Speichermengengrenzwert überschreitenden Stickoxid-Speichermenge im SCR-Katalysator vorgesehene spezifische Kaltstartmotorbetriebsverfahren findet hingegen bevorzugt keine Anwendung oder allenfalls eine Anwendung in abgewandelter Form, wenn, bzw. solange der Stickoxid-Speichermengengrenzwert unterschritten ist. Dadurch kann ein Kraftstoffmehrverbrauch vermieden werden, der sich typischerweise bei dem vorgesehenen spezifischen Kaltstartmotorbetriebsverfahren einstellt, wenn dieses aus Sicht der besonders kritisch anzusehenden NO_2-Emission nicht erforderlich ist.

[0006] Die Erfinder haben erkannt, dass eine unerwünscht hohe Emission von NO_2 in erster Linie von einer zu großen Menge von im SCR-Katalysator eingespeicherten Stickoxiden (NOx) verursacht ist. Die eingespeicherten NOx können in physisorbierter oder chemisorbierter Form oder auch in chemisch gebundener Form, beispielsweise als salpetrige Säure vorliegen. Es wurde überraschend festgestellt, dass im SCR-Katalysator gespeichertes NOx bei einer Aufheizung des SCR-Katalysators überwiegend als NO_2 desorbiert, wohingegen der NO-Anteil des desorbierten NOx wesentlich geringer ist. Infolge der gegenüber NO erhöhten Schädlichkeit von NO_2 ist es deshalb besonders erwünscht, die NO_2-Emission zu begrenzen. Durch die erfindungsgemäß vorgenommene Abschätzung der Stickoxid-Speichermenge kann das Risiko einer unerwünscht starken NO_2-Desorption infolge einer Aufheizung des SCR-Katalysators in Verbindung mit einem Kaltstart bzw. einem Warmlauf der Brennkraftmaschine ebenfalls abgeschätzt werden. Übersteigt die Stickoxid-Speichermenge den kritischen Stickoxid-Speichermengengrenzwert, so wird das erfindungsgemäße Kaltstartmotorbetriebsverfahren aktiviert. Damit erfolgt eine Aufheizung des SCR-Katalysators einerseits so frühzeitig, dass die NO_2-Emission auf vorgebbare Werte begrenzt bleibt. Andererseits erlaubt das erfindungsgemäße Kaltstartmotorbetriebsverfahren eine Aufheizgeschwindigkeit des SCR-Katalysators gezielt so einzustellen, dass die NO_2-Emission auf vorgebbare Werte begrenzt bleibt.

[0007] In Ausgestaltung der Erfindung werden bei aktiviertem Kaltstartmotorbetriebsverfahren Werte von Brennkraftmaschinenbetriebsgrößen derart vorgegeben, dass der SCR-Katalysator durch von der Brennkraftmaschine abgegebene Abgase so aufgeheizt wird, dass ein vorgebbarer Desorptionsratenwert für eine sich infolge der Aufheizung des SCR-Katalysators ergebende Rate von vom SCR-Katalysator desorbierenden Stickstoffdioxid oder eine vorgebbare Maximalkonzentration von NO_2 in dem an die Umgebung abgegebenen Abgas unterschritten wird. Es wurde festgestellt, dass eine rasche Aufheizung eines mit eingespeicherten Stickoxiden beladenen SCR-Katalysators eine sehr rasch zunehmende Desorption von NO_2, d. h. eine hohe Desorptionsrate zur Folge haben kann. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn bei der Aufheizung ein Desorptions-Temperaturbereich von typischerweise +10°C bis +60°C erreicht bzw. durchschritten wird. Je nach Größe der Stickoxid-Speichermenge resultiert daraus eine mehr oder weniger hohe Maximalkonzentration von an die Umgebung abgegebe-

nem NO_2 im Abgas. Es ist daher besonders bevorzugt, wenn in weiterer Ausgestaltung der Erfindung bei einer Aufheizung des SCR-Katalysators ein vorgebbarer Aufheizgradientenmaximalwert für einen Aufheizgradienten des SCR-Katalysators unterschritten wird. Durch in Abhängigkeit von Stickoxid-Speichermenge und/oder Temperatur des SCR-Katalysators eingestellte Werte von Brennkraftmaschinenbetriebsgrößen können der Aufheizgradient und damit der Desorptionsratenwert bzw. die NO_2-Maximalkonzentration gezielt beeinflusst und vorgegebene oder vorgebbare Grenzwerte zuverlässig unterschritten werden. Beispielsweise kann durch entsprechend eingestellte Werte von Brennkraftmaschinenbetriebsgrößen eine vergleichsweise langsame Aufheizung von weniger als ca. 10°C je min, insbesondere in einem Temperaturintervall von –20°C bis +40°C, eine sanfte NO_2-Desorption erzielt werden, bei welcher kritische NO_2-Spitzenkonzentrationen vermieden werden. Die Einstellung eines niedrigen Aufheizgradienten ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn der SCR-Katalysator eine Temperatur wenig unterhalb oder innerhalb des Desorptions-Temperaturbereichs aufweist. Besonders vorteilhaft ist es, ausgehend von tiefen Temperaturen, d. h. weniger als 0°C, insbesondere weniger als –20°C, in einem ersten Aufheizschritt zunächst einen hohen Aufheizgradienten von etwa 20°C/min oder mehr einzustellen. Dadurch wird die Expositionsdauer des SCR-Katalysators in dem für eine NOx-Einspeicherung kritischen Temperaturregime verkürzt, die weitere NOx-Einspeicherung weitgehend vermieden und somit die Stickoxid-Speichermenge begrenzt. Hat der SCR-Katalysator eine Temperatur knapp unterhalb des Desorptions-Temperaturbereichs, d. h. eine etwa um 10°C darunter liegende Temperatur erreicht, wird ein niedriger, unterhalb des Aufheizgradientenmaximalwerts liegender Aufheizgradient eingestellt. Dabei ist es vorteilhaft, den Aufheizgradienten temperaturabhängig, insbesondere mit steigender Temperatur abnehmend einzustellen.

[0008] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung beruht die Abschätzung der Stickoxid-Speichermenge auf einer Betriebsdauer der Brennkraftmaschine mit einer ständig eine vorgebbare insbesondere erste Schwellentemperatur unterschreitenden Temperatur für den SCR-Katalysator. Als kritisch haben sich speziell längere Schwachlastbetriebszeiten bei niedrigen Temperaturen erwiesen. Wird beispielsweise unterhalb einer katalysatorspezifischen Schwellentemperatur von typischerweise ca. 30°C die Brennkraftmaschine längere Zeit im Leerlauf betrieben, so reichern sich emittierte Stickoxide im SCR-Katalysator zunehmend an. Bei mehrfachen, aufeinander folgenden Kaltstart- und/oder Warmlaufvorgängen, bei denen der SCR-Katalysator ständig Temperaturen aufweist, bei denen eine Einspeicherung von NOx erfolgen kann, kumulieren sich die jeweils eingespeicherten NOx-Mengen. Bei einer nachfolgenden, insbesondere raschen Aufheizung infolge einer ansteigenden Brennkraftmaschinenlast kann es daher zu einer unerwünscht starken NO_2-Desorption kommen. Erfindungsgemäß wird dem dadurch begegnet, dass die Stickoxid-Speichermenge über die Betriebszeit mit NOx-Einspeicherung integrierend abgeschätzt wird. Damit kann bereits vor Erreichen einer kritischen integralen Stickoxid-Speichermenge das Kaltstartmotorbetriebsverfahren aktiviert und eine gezielte Aufheizung des SCR-Katalysators initiiert werden. Zur Abschätzung der Stickoxid-Speichermenge wird bevorzugt auf abgespeicherte Emissionskennfelder der Brennkraftmaschine und entsprechende Adsorptionskennlinien zurückgegriffen. Es kann auch eine online-Berechnung, basierend auf einem Adsorptions- und Desorptionsmodell für den SCR-Katalysator vorgesehen sein.

[0009] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird als Stickoxid-Speichermengengrenzwert ein Bruchteil einer Stickoxid-Speicherkapazität des SCR-Katalysators vorgegeben. Die Stickoxid-Speicherkapazität als maximal vom SCR-Katalysator speicherbare Stickoxid-Menge ist typischerweise stark temperaturabhängig und außerdem von Art und/oder Alterungszustand des SCR-Katalysators abhängig. Sie wird zweckmäßig vorab empirisch ermittelt und in einem Steuergerät abgespeichert. Dabei kann neben einer Temperaturabhängigkeit eine Alterungsabhängigkeit berücksichtigt werden. Für einen vorzugsweise vorgesehenen SCR-Katalysator vom Eisen- oder Kupfer-Zeolithtyp liegt die Stickoxid-Speicherkapazität typischerweise im Bereich von 1 g bis 30 g je l Katalysatorvolumen bei niedrigen Temperaturen von 0°C und weniger. Durch die erfindungsgemäß vorgesehene Orientierung des Stickoxid-Speichermengengrenzwerts an der solcherart bestimmten Stickoxid-Speicherkapazität wird eine unerwünscht hohe Beladung des SCR-Katalysators vermieden. Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn der Bruchteil der Stickoxid-Speicherkapazität des SCR-Katalysators temperaturabhängig, insbesondere abnehmend mit abnehmender Temperatur des SCR-Katalysators vorgegeben wird.

[0010] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird nach Erreichen einer vorgebbaren insbesondere zweiten Schwellentemperatur für den SCR-Katalysator das Kaltstartmotorbetriebsverfahren deaktiviert. Die Erfinder haben erkannt, dass oberhalb einer typischerweise katalysatorspezifischen Schwellentemperatur eine Einspeicherung von Stickoxiden im SCR-Katalysator gering oder sogar vernachlässigbar ist, wobei gegebenenfalls eingespeicherte Stickoxide bereits unterhalb dieser Temperatur wenigstens annähernd vollständig desorbieren können. Wird das Kaltstartmotorbetriebsverfahren möglichst rasch nach Erreichen der Schwellentemperatur deaktiviert, so wird damit auch ein Kraftstoffmehrverbrauch vermieden oder zumindest begrenzt. Überschreitet die

vom Benutzer angeforderte Motorlast einen vorgebbaren Mindestwert, bei welchem sichergestellt ist, dass eine weitere Erwärmung oder zumindest keine Abkühlung erfolgt, so wird bevorzugt unmittelbar nach Erreichen der Schwellentemperatur das Kaltstartmotorbetriebsverfahren deaktiviert. Im anderen Fall kann vorgesehen sein, dieses noch eine gewisse Zeit aktiviert zu lassen. Vorteilhaft ist es in diesem Zusammenhang insbesondere, den genauen Zeitpunkt des Deaktivierens in Abhängigkeit von der Motorlast zu applizieren. Selbstverständlich kann auch vorgesehen sein, eine NO_2-Desorption sensorisch zu erfassen und nach Überschreiten eines detektierten NO_2-Desorptionsmaximums das aktivierte Kaltstartmotorbetriebsverfahren durch Beenden einiger aller dabei ergriffener Maßnahmen zu deaktivieren.

[0011] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird bei aktiviertem Kaltstartmotorbetriebsverfahren eine Mehrfacheinspritzung von Kraftstoff in einen oder mehrere Zylinderbrennräume der Brennkraftmaschine vorgenommen, welche innerhalb eines Arbeitsspiels des jeweiligen Zylinders eine erste Piloteinspritzung, eine auf die erste Piloteinspritzung folgende zweite Piloteinspritzung und eine auf die zweite Piloteinspritzung folgende Haupteinspritzung umfasst. Dabei kann vorgesehen sein die erste und/oder die zweite Piloteinspritzung in zwei kurz aufeinander folgende Einzeleinspritzungen aufzuteilen. Durch die vorgenommenen wenigstens zwei der Haupteinspritzung vorangehenden Piloteinspritzungen ist eine Entflammung des eingespritzten Kraftstoffs auch bei niedrigen Motortemperaturen unterhalb des Gefrierpunkts ermöglicht. Bevorzugt wird eine vergleichsweise geringe Kraftstoffmenge von etwa 20% oder weniger in Bezug auf die Haupteinspritzmenge in der ersten bzw. in der zweiten Piloteinspritzung eingespritzt. Auf diese Weise ist eine Zündung auch bei sehr niedrigen Umgebungs- bzw. Motortemperaturen von minus 20°C oder weniger ermöglicht. Aufgrund der geringen Piloteinspritzmenge ist eine verdampfungsbedingte Temperaturabsenkung zumindest verringert und eine Entflammung der homogenisierten Piloteinspritzmenge ist verbessert.

[0012] Es ist besonders bevorzugt, wenn in weiterer Ausgestaltung der Erfindung die erste Piloteinspritzung in einem Kurbelwellenwinkelbereich von größer als 20 Grad vor einem oberen Totpunkt im Kompressionstakt des jeweiligen Zylinders erfolgt. Typischerweise ist bei niedrigen Temperaturen von minus 20°C oder weniger die Temperatur im Zylinder für eine konventionelle Diffusionsverbrennung zu niedrig. Bei der erfindungsgemäßen frühen Piloteinspritzung ist eine Homogenisierung des Gemisches ermöglicht, wodurch die Zündbarkeit verbessert wird. Mit entsprechendem Zündverzug nach der Einspritzung erfolgt ein Verbrennungsumsatz der ersten Piloteinspritzung, was zu einem Anstieg des Temperaturniveaus im Zylinder führt. Die mit der zweiten Piloteinspritzung eingebrachte Kraftstoffmenge kann daher rasch verdampfen und ebenfalls entflammen. Eine typischerweise mit der homogenen oder teilhomogenen Verbrennung einhergehende HC-Emission hat sich dabei als vorteilhaft in Bezug auf eine Verminderung der Stickoxid-Speichermenge und der NO_2-Desorptionsmenge erwiesen. Obschon die Zusammenhänge nicht vollkommen geklärt sind, wird davon ausgegangen, dass durch begleitend zu NOx im Abgas vorhandene HC durch Blockieren von Adsorptionsplätzen eine NOx-Einspeicherung vermindert ist. Andererseits scheint eine Reduktion von gasförmigem und/oder eingespeichertem NO_2 und/oder NO zu erfolgen, wodurch die NO_2-Desorptionsmenge ebenfalls vermindert wird. Es kann daher vorgesehen sein, parallel zum aktiven Kaltstartmotorbetriebsverfahren und/oder mit beginnender NO_2-Desorption gezielt eine HC-Anreicherung des Abgases vorzunehmen. Dabei kann insbesondere eine Einstellung einer vorgebbaren HC-Zielkonzentration im Bereich von 80 ppm bis 3000 ppm, besonders bevorzugt im Bereich von 200 ppm bis 1000 ppm einzustellen. Hierzu wird bevorzugt die Einspitzmenge der ersten und/oder zweiten Piloteinspritzung entsprechend erhöht. Eine außermotorische Zugabe von HC ins Abgas, beispielsweise durch eine Kraftstoffzugabeeinheit kann hierfür natürlich ebenfalls vorgesehen sein.

[0013] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die zweite Piloteinspritzung zu einem Zeitpunkt nach dem Beginn eines Wärme freisetzenden Umsatzes von durch die erste Piloteinspritzung eingespritztem Kraftstoff. Durch die erfindungsgemäße Wahl des Zeitpunkts für die zweite Piloteinspritzung wird der Brennverlauf für den Kraftstoff der zweiten Piloteinspritzung sowie der folgenden Haupteinspritzung verbessert.

[0014] Eine weitere Verbesserung des Brennverlaufs ist ermöglicht, wenn in weiterer Ausgestaltung der Erfindung die Haupteinspritzung zu einem Zeitpunkt nach dem Beginn eines Wärme freisetzenden Umsatzes von durch die zweite Piloteinspritzung eingespritztem Kraftstoff erfolgt. Damit ist eine sichere Zündung auch bei sehr niedrigen Temperaturen gewährleistet und es ist eine gezielte Aufheizung der Abgasreinigungsanlage ermöglicht.

[0015] Typischerweise erfolgt die Haupteinspritzung erst nach dem oberen Totpunkt des Kompressionstakts, insbesondere erst nach etwa 10 Grad Kurbelwinkel nach dem oberen Totpunkt. Daraus resultiert eine späte Verbrennungslage bzw. eine späte Lage des Verbrennungsschwerpunkts. Dies ermöglicht eine sichere Zündung und eine gezielte und rasche Aufheizung der Abgasreinigungsanlage und damit des SCR-Katalysators. Zudem ist eine verbrennungsbedingte NO-Bildung vermindert.

[0016] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung er-

folgt die Durchführung des Kaltstartmotorbetriebsverfahrens in einem vorgebbaren Schwachlastbereich der Brennkraftmaschine und das Kaltstartmotorbetriebsverfahren wird bei einer Brennkraftmaschinenlast oberhalb des Schwachlastbereichs deaktiviert. Nach Deaktivierung des Kaltstartmotorbetriebsverfahrens wird bevorzugt ein Brennverfahren mit dominierender Diffusionsverbrennung eingestellt.

[0017] Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Zeichnungen veranschaulicht und werden nachfolgend beschrieben. Dabei sind die vorstehend genannten und nachfolgend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Merkmalskombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0018] Dabei zeigen:

[0019] Fig. 1 eine Brennkraftmaschine mit einer einen SCR-Katalysator umfassenden Abgasreinigungsanlage in einer schematischen Darstellung,

[0020] Fig. 2 ein Diagramm mit schematischer Darstellung der Temperaturabhängigkeit einer NOx-Speicherkapazität eines typischen Zeolith-SCR-Katalysators,

[0021] Fig. 3 ein Diagramm mit schematisch dargestellten NO_2-Desorptionskennlinien für einen mit unterschiedlichen NOx-Speichermengen beladenen Katalysator gemäß Fig. 2,

[0022] Fig. 4 ein weiteres Diagramm mit schematisch dargestellten, mit unterschiedlichen Aufheizgradienten erzielten NO_2-Desorptionskennlinien für einen mit NOx beladenen Katalysator gemäß Fig. 2 und

[0023] Fig. 5 ein Diagramm mit schematischer Darstellung einer Wärmefreisetzung in einem Zylinder des Dieselmotors und Ansteuerimpulse I_{Injek} des entsprechenden Kraftstoffinjektors in Abhängigkeit von Zeit.

[0024] Fig. 1 zeigt schematisch eine vorteilhafte Ausführungsform eines Systems von Verbrennungsmotor **1** und Abgasreinigungsanlage **2** für ein nicht dargestelltes Kraftfahrzeug. Der Verbrennungsmotor **1** ist vorliegend als direkteinspritzende luftverdichtende Brennkraftmaschine nach dem Hubkolbenprinzip, nachfolgend vereinfacht als Dieselmotor bezeichnet, ausgeführt. Ein zugeordnetes nicht dargestelltes Kraftstoffeinspritzsystem ist vorzugsweise als so genanntes Common-Rail-System mit einstellbarem Raildruck bzw. Kraftstoffeinspritzdruck ausgeführt.

[0025] Den Zylindern des Dieselmotors **1** sind jeweils ein Brennraum mit ein oder zwei Einlass- und Auslassventilen, einer Glühkerze und einem Kraftstoffinjektor sowie ein oder mehrere Einlasskanäle für die Verbrennungsluft zugeordnet, was im Einzelnen nicht näher dargestellt ist. Die Kraftstoffinjektoren sind dabei zur Durchführung von Mehrfacheinspritzungen mit einstellbaren Einspritzmengen befähigt. Die Einlass- und Auslassventile sind bevorzugt mit einstellbaren Steuerzeiten und einstellbarem Öffnungshub betreibbar.

[0026] Der Dieselmotor **1** erhält seine Verbrennungsluft über eine Luftzufuhrleitung **3**, in der ein nicht dargestellter Luftmassenmesser angeordnet ist. Mittels eines ebenfalls nicht dargestellten einstellbaren Drosselelements in der Luftzufuhrleitung kann der dem Dieselmotor **1** zugeführte Luftmassenstrom auf ein einstellbares Maß gedrosselt werden. Die Verbrennungsluft wird mittels eines Abgasturboladers **15** verdichtet und einem Ladeluftkühler **16** zur Kühlung zugeführt. Bevorzugt sind nicht näher dargestellte Mittel zur Anhebung des Temperaturniveaus der dem Dieselmotor **1** zugeführten Verbrennungsluft insbesondere in Verbindung mit einem Kaltstart bzw. Warmlauf vorgesehen. Vorzugsweise ist eine bedarfsweise Umgehbarkeit des Ladeluftkühlers **16** vorgesehen. Zur aktiven Anhebung der Verbrennungslufttemperatur kann eine Heizvorrichtung im Luftzufuhrtrakt vorgesehen sein. Besonders bevorzugt ist eine aktive Aufheizung mittels eines so genannten Gridheaters, der vorzugsweise in einer Abgasrückführleitung **13** vor deren Einmündung in die Luftzufuhrleitung **3** angeordnet ist. Der Abgasturbolader **15** ist vorzugsweise als so genannter VTG-Lader oder als Wastegate-Lader mit einstellbarem Ladedruck ausgeführt.

[0027] In den Brennräumen der Zylinder des Dieselmotors **1** erzeugtes Abgas wird über eine Abgasleitung **4** abgeleitet. Dabei kann der Verbrennungsluft über die Abgasrückführleitung **13** Abgas beigemischt und somit zum Dieselmotor **1** zurückgeführt werden. Der Anteil des rückgeführten Abgases (AGR-Rate) kann über ein AGR-Ventil **14** eingestellt werden. Vorzugsweise wird das zum Dieselmotor **1** rückführte Abgas mittels eines nicht dargestellten AGR-Kühlers gekühlt, wobei für den AGR-Kühler eine gegebenenfalls einstellbare Umgehung vorgesehen sein kann. Dadurch kann der Verbrennungsluft wahlweise gekühltes oder heißes bzw. erwärmtes Abgas zugemischt werden. Nicht rückgeführtes Abgas wird über den Abgasturbolader **15** der Abgasreinigungsanlage **2** zugeführt.

[0028] Weiterhin ist bevorzugt ein nicht dargestelltes einstellbares Drosselelement in der Abgasleitung **4** stromab des Abgasturboladers **15** vorgesehen.

[0029] Mit der beschriebenen bevorzugten Ausführungsform können bedarfsgerecht unterschiedliche

Werte für die wesentlichen Motorbetriebsparameter wie z. B. Luftmassenstrom, Einspritzzeit, -menge, -Druck und -Zeitpunkt mehrerer Kraftstoffeinspritzungen, AGR-Rate, Ladeluftdruck, Zylinderfüllung und damit unterschiedliche Brennverfahren dargestellt werden. Eine weitere Vergrößerung der Variabilität kann in Form eines einstellbaren Verdichtungsverhältnisses vorgesehen sein.

[0030] Eine bevorzugte Ausführungsform der dem Dieselmotor **1** zugeordneten Abgasreinigungsanlage **2** umfasst in Strömungsrichtung des Abgases gesehen in dieser Reihenfolge einen ersten Oxidationskatalysator **5**, einen zweiten Oxidationskatalysator **6**, einen Partikelfilter **7** und einen SCR-Katalysator **8**. Als Partikelfilter **7** kommt vorzugsweise ein so genannter Wallflow-Filter auf SiC-, Cordierierit- oder Aluminiumtitanatbasis zum Einsatz. Der Partikelfilter **7** kann jedoch auch als Sintermetallfilter oder als Filtereinheit mit einer offenen Filterstruktur ausgebildet sein. Bevorzugt sind die Katalysatoren **5**, **6**, **8** als Wabenkörpermonolithen ausgeführt, die von katalytisch beschichteten Kanälen durchzogen sind, durch welche das zugeführte Abgas strömen kann. Der SCR-Katalysator **8** ist vorzugsweise als beschichteter Trägerkatalysator mit einer Kupfer- oder Eisenhaltigen Zeolithbeschichtung ausgeführt. Infolge dieser Ausführungsform besitzt der SCR-Katalysator **8** die Eigenschaft, Abgaskomponenten, insbesondere HO, NO_x und NH_3 einspeichern zu können. Die wesentliche Eigenschaft besteht jedoch darin, unter oxidierenden Bedingungen eine selektive Reduktion von NOx zu N_2 mittels eingespeichertem bzw. zugeführtem NH_3 als Reaktionspartner katalysieren zu können. Eine Zufuhr von NH_3 erfolgt bevorzugt über eine nicht dargestellte Dosiereinrichtung, über welche eine Harnstoff enthaltende Lösung ins Abgas stromauf des SCR-Katalysators **8** eingespritzt werden kann. Ins Abgas eingespritzter Harnstoff zersetzt sich dabei unter Freisetzung von NH_3.

[0031] Eingangsseitig des ersten Oxidationskatalysators **5** und/oder des zweiten Oxidationskatalysators **6** kann eine Brennstoffzugabeeinheit vorgesehen sein, über welche beispielsweise Kraftstoff als Brennstoff dem Abgas zugeführt werden kann. Dies ermöglicht eine Anreicherung des Abgases mit Kraftstoff bzw. HC. Infolge exothermer Oxidation von dem Abgas bedarfsgerecht zugeführtem Brennstoff ist wiederum eine gezielte Aufheizung des Abgases, beispielsweise im Zusammenhang mit einer aktiven Regeneration des Partikelfilters **7** durch thermischen Rußabbrand ermöglicht.

[0032] In der Abgasnachbehandlungseinrichtung **2** sind verschiedene Temperatur- und Abgassensoren zur Erfassung von Abgas- und Bauteiletemperaturen sowie von Konzentrationen wichtiger Abgasbestandteile vorgesehen. Beispielhaft sind in Fig. 1 eingangsseitig des zweiten Oxidationskatalysators **6** sowie ausgangsseitig des Partikelfilters **7** je ein Temperatursensor **10**, **11** in der Abgasreinigungsanlage **2** angeordnet. Ausgangsseitig des zweiten Oxidationskatalysators **6** sowie des SCR-Katalysators **8** sind gegenüber NOx und/oder NH_3 empfindliche Gassensoren **9**, **12** vorgesehen. Zur Ermittlung der Beladung des Partikelfilters **7** mit Ruß und/oder Asche ist es zudem bevorzugt, ein- und ausgangsseitig des Partikelfilters **7** Drucksensoren bzw. einen Differenzdrucksensor vorzusehen, was in Fig. 1 nicht gesondert dargestellt ist. Mittels dieser und gegebenenfalls weiterer Sensoren kann der Betriebszustand der Abgasreinigungsanlage **2** umfassend ermittelt und der Betrieb des Dieselmotors **1** gegebenenfalls angepasst werden.

[0033] Zur Einstellung bzw. Erfassung des Motorbetriebs ist ein elektronisches Motorsteuergerät **17** vorgesehen. Das Motorsteuergerät **17** erhält einerseits Informationen über maßgebliche Motorbetriebsgrößen wie z. B. Drehzahl, Motorlast, Temperaturen, Drücke von den entsprechenden Sensoren bzw. Fühlern und kann andererseits Steuersignale als Einstellgrößen an Aktuatoren wie z. B. an das AGR-Ventil **14**, den Abgasturbolader **15** oder das Drosselelement in der Luftzufuhrleitung **3** ausgeben. Es ist eine Regulierbarkeit von Betriebs- bzw. Zustandsgrößen der Gaszufuhrseite und der Kraftstoffzufuhrseite vorgesehen. Insbesondere ist das Motorsteuergerät **17** in der Lage, die Kraftstoffinjektoren zur Durchführung von Mehrfacheinspritzungen anzusteuern und gegebenenfalls den Kraftstoffeinspritzdruck bedarfsgerecht einzustellen. Ferner ist das Motorsteuergerät **17** zur Durchführung von Regel- und Steuervorgängen eingerichtet, mit welchen Motorbetriebsgrößen geregelt oder gesteuert eingestellt werden. Hierfür kann das Motorsteuergerät **17** auf abgespeicherte Kennfelder oder Berechnungs- bzw. Regel- oder Steuerroutinen zurückgreifen. Hierfür vorgesehene Subsysteme, wie Rechner, Speicher oder Ein-Ausgabeeinheiten und dergleichen sind nicht gesondert dargestellt.

[0034] In analoger Weise ist zur Erfassung und Einstellung von Betriebs- und Zustandsgrößen der Abgasnachbehandlungseinrichtung **2** ein zweites Steuergerät **18** vorgesehen. Das Motorsteuergerät **17** und das zweite Steuergerät **18** sind mittels einer bidirektionalen Datenleitung **19** miteinander verbunden. Auf diese Weise ist ein wechselseitiger Austausch von einem jeweiligen Steuergerät zur Verfügung stehenden Daten ermöglicht. Es versteht sich, dass die Steuergeräte **17**, **18** auch in einer einzigen integralen Messwerterfassungs- und Steuereinheit zusammengefasst sein können.

[0035] In der dargestellten bevorzugten Ausführungsform ist weitestgehend ein optimaler Betrieb des Dieselmotors **1** und eine umfassende Reinigung der von ihm abgegebenen Abgase ermöglicht. Eine

Abgasreinigung im gewünschten Umfang ist jedoch nur dann ermöglicht, wenn die Abgaskatalysatoren **5**, **6**, **8** ihre Betriebstemperatur aufweisen. Unterhalb einer so genannten Anspringtemperatur ist eine verminderte oder fehlende katalytische Aktivität gegeben, weshalb insbesondere in Verbindung mit einem Kaltstart bzw. einem Warmlauf besondere Maßnahmen erforderlich sind, um eine unerwünschten Schadstoffabgabe an die Umgebung zu vermeiden oder zumindest zu verringern. Nachfolgend wird speziell auf eine Verringerung der Emission von Stickstoffdioxid (NO_2) bei Temperaturen unterhalb einer Anspringtemperatur des SCR-Katalysators **8** eingegangen. Insbesondere betreffen die nachfolgend erörterten Maßnahmen eine Verringerung der NO_2-Emission bei Umgebungstemperaturen unterhalb oder nahe des Gefrierpunkts bzw. bei Temperaturen des SCR-Katalysators **8** unterhalb einer für eine Adsorption von NOx bzw. Desorption von NO_2 spezifischen Schwellentemperatur, welche für die bevorzugt eingesetzten Ausführungsformen im Bereich von typischerweise 10°C bis 50°C liegt.

[0036] Bevor im Einzelnen auf bevorzugte Maßnahmen zur Vermeidung einer unerwünschten NO_2-Emission eingegangen wird, werden zunächst unter Bezug auf die Fig. 2 bis Fig. 4 die zugrunde liegenden Phänomene erläutert.

[0037] Im Diagramm von Fig. 2 ist schematisch die Temperaturabhängigkeit einer NOx-Speicherkapazität κ eines typischen SCR-Katalysators auf Zeolith-Basis dargestellt. Wie ersichtlich, nimmt mit abnehmender Temperatur T_{SCR} die NOx-Speicherkapazität κ, d. h. die Menge an NOx, welche im SCR-Katalysator eingespeichert werden kann, zu. Dabei ist mit abnehmenden Temperaturen ein zunehmendes Sättigungsverhalten festzustellen. Obschon je nach Art und Umfang der katalytischen Zeolith-Beschichtung die Temperaturabhängigkeit der NOx-Speicherkapazität κ unterschiedlich ausgeprägt sein kann, sind Werte im Bereich von 0,5 bis 30 Gramm NO_2 je Liter Katalysatorvolumen, insbesondere von 1 bis 20 g/l für die NOx-Speicherkapazität κ im Temperaturbereich von +20 bis minus 20°C als typisch anzusehen. Insbesondere sind Maximalwerte von ca. 20 g/l bei Temperaturen von $T_{SCR} < -15$°C charakteristisch für gebräuchliche Katalysatorausführungen. Oberhalb einer katalysatorspezifischen Schwellentemperatur von ca. +10 bis +50°C, insbesondere von ca. +30°C ist die NOx-Speicherkapazität κ typischerweise vernachlässigbar.

[0038] Die von den Erfindern nachgewiesene NOx-Speicherkapazität κ hat zur Folge, dass bei einem Motorbetrieb, bei welchem der SCR-Katalysator **8** die Schwellentemperatur unterschreitet, im Abgas vorhandene Stickoxide in mehr oder weniger starkem Umfang eingespeichert werden. Entsprechende Motorbetriebszustände umfassen beispielsweise einen oder mehrere aufeinanderfolgende Kaltstartvorgänge, an welche sich jeweils Schwachlastphasen oder Warmlaufphasen anschließen können. Wird im Anschluss an derartige Motorbetriebszustände vom Dieselmotor **1** eine höhere Last angefordert, so tritt infolge des stärker erhitzten Abgases eine Erwärmung des SCR-Katalysators **8** ein, was zu einer unerwünschten Desorption von zuvor eingespeicherten Stickoxiden führen kann, noch bevor der SCR-Katalysator **8** seine Anspringtemperatur erreicht. Dabei werden Stickoxide überwiegend als NO_2 desorbiert und an die Umgebung abgegeben. Die Erfinder haben festgestellt, dass das Ausmaß der NO_2-Desorption maßgeblich von der im SCR-Katalysator **8** eingespeicherten Stickoxidmenge sowie von der Aufheizgeschwindigkeit des SCR-Katalysators **8** abhängig ist, was anhand der Fig. 3 und Fig. 4 nachfolgend erläutert wird.

[0039] Im Diagramm von Fig. 3 sind schematisch NO_2-Desorptionskennlinien für einen mit unterschiedlichen NOx-Speichermengen beladenen SCR-Katalysator gemäß Fig. 2 dargestellt. Dabei sind Verläufe von ausgangsseitig des SCR-Katalysators im Abgas gemessenen NO_2-Konzentrationen c_{NO2} in Abhängigkeit von der Temperatur T_{SCR} des SCR-Katalysators aufgetragen. Bei den entsprechenden Versuchen wurde der SCR-Katalysator bei Temperaturen unterhalb der für eine NOx-Adsorption maßgeblichen Schwellentemperatur mit unterschiedlichen NOx-Mengen beladen und anschließend mit annähernd konstanter Aufheizheizrate aufgeheizt. Wie dargestellt, treten in einem charakteristischen Desorptions-Temperaturbereich NO_2-Desorptionsspitzen auf, die mit zunehmender NOx-Speichermenge eine zunehmende Höhe aufweisen. Obschon der Desorptions-Temperaturbereich von der Art der katalytischen Zeolith-Beschichtung abhängig ist, sind Werte im Bereich von +10°C bis +60°C, insbesondere von +20°C bis +50°C für das Auftreten des NO_2-Konzentrationsmaximums als typisch anzusehen.

[0040] Es wurde weiter festgestellt, dass die NO_2-Desorptionsrate bzw. die Höhe und Breite der NO_2-Desorptionsspitze von der Aufheizgeschwindigkeit, d. h. von der Größe des Aufheizgradienten abhängig ist, wie anhand von Fig. 4 gezeigt werden kann. Im Diagramm von Fig. 4 sind analog zum Diagramm von Fig. 3 schematisch NO_2-Desorptionskennlinien für einen mit jeweils gleichen NOx-Speichermengen beladenen SCR-Katalysator gemäß Fig. 2 dargestellt. Dabei erfolgte eine Aufheizung nach Beladung des SCR-Katalysators mit annähernd konstanten, jedoch unterschiedlichen Aufheizheizraten dT_{SCR}/dt. Analog zu den im Diagramm von Fig. 3 dargestellten Kurvenverläufen treten in einem charakteristischen Desorptions-Temperaturbereich NO_2-Desorptionsspitzen auf, die mit zunehmendem Aufheizgradienten dT_{SCR}/dt eine zunehmende Höhe

und eine abnehmende Breite aufweisen.

[0041] Aufgrund der in den Diagrammen der Fig. 2 bis Fig. 4 dargestellten Ergebnisse von entsprechenden Grundlagenversuchen wurden Strategien zur Vermeidung einer unerwünscht starken NO_2-Freisetzung bei einem Kaltstart und/oder einem Warmlauf des Dieselmotors entwickelt, die erfindungsgemäß einerseits darauf abzielen, eine Einspeicherung von NOx im SCR-Katalysator **8** mengenmäßig zu begrenzen. Dies wird dadurch erreicht, dass eine Abschätzung der Menge von im SCR-Katalysator **8** gespeicherten NOx erfolgt und eine gezielte Aufheizung des SCR-Katalysators **8** mittels entsprechend erwärmten Abgas vorgenommen wird, wenn die Abschätzung ergibt, dass die NOx-Speichermenge einen vorgebbaren NOx-Speichermengengrenzwert überschreitet. Auf diese Weise wird eine Einspeicherung kritisch großer NOx-Mengen vermieden und es wird eine Desorption von im SCR-Katalysator **8** gespeicherten NOx zu einem Zeitpunkt erzwungen, bevor die NOx-Speichermenge ein derart kritisches Niveau erreicht, dass eine später erfolgende Erwärmung unerwünscht hohe NO_2-Desorptionsspitzen nach sich ziehen würde. Andererseits werden nachfolgend näher erläuterte Aufheizmaßnahmen derart vorgenommen, dass ein vorgebbarer Desorptionsratenwert für eine sich infolge der Aufheizung des SCR-Katalysators **8** ergebende Rate von vom SCR-Katalysator **8** desorbierenden NO_2 oder eine vorgebbare Maximalkonzentration von NO_2 in dem an die Umgebung abgegebenen Abgas unterschritten wird.

[0042] Zur Abschätzung der NOx-Speichermenge im SCR-Katalysator **8** ist es erfindungsgemäß vorgesehen, die Anzahl von aufeinander folgenden Kaltstart- und Warmlaufvorgängen zu erfassen, bei denen eine vorgebbare Schwellentemperatur für den SCR-Katalysator **8** ständig oder zumindest überwiegend unterschritten ist. Die dabei vom Dieselmotor **1** emittierte und im SCR-Katalysator **8** eingespeicherte NOx-Menge wird ebenfalls ermittelt. Hierfür wird bevorzugt auf abgespeicherte Emissionskennfelder des Dieselmotors **1** zurückgegriffen, in welchen Werte für die NOx-Rohemission in Abhängigkeit von maßgeblichen Motorbetriebsparametern abgespeichert sind. In Verbindung mit ebenfalls abgespeicherten Adsorptions- und Desorptionskennlinien entsprechend den in den Fig. 2 bis Fig. 4 dargestellten Diagrammen ist eine Aufsummierung von in jeweiligen Kaltstart- und Warmlaufvorgängen im SCR-Katalysator **8** eingespeicherten NOx-Mengen ermöglicht. Ergibt die Abschätzung, dass die NOx-Speichermenge einen NOx-Speichermengengrenzwert überschreitet, der einen insbesondere in Abhängigkeit von der Temperatur des SCR-Katalysators **8** und/oder des Abgasdurchsatzes vorgebbaren Bruchteil einer NOx-Speicherkapazität κ des SCR-Katalysators **8** überschreitet, so werden Aufheizmaßnahmen aktiviert, die bevorzugt so gesteuert sind, dass ein vorgebbarer Aufheizgradientenmaximalwert für einen Aufheizgradienten des SCR-Katalysators **8** insbesondere in oder nahe unterhalb des Desorptions-Temperaturbereichs unterschritten wird. Der Aufheizgradientenmaximalwert wird bevorzugt in Abhängigkeit von NOx-Speichermenge und/oder Temperatur des SCR-Katalysators **8** so festgelegt, dass die NO_2-Maximalkonzentration in dem an die Umgebung abgegebenen Abgas einen vorgebbaren Wert unterschreitet. Bevorzugt entspricht dieser Wert für die NO_2-Maximalkonzentration einer Sichtbarkeitsgrenze von NO_2. Typische Werte für den NOx-Speichermengengrenzwert betragen etwa 10% bis 30% der NOx-Speicherkapazität κ des SCR-Katalysators **8**. Typische Werte für den Aufheizgradientenmaximalwert betragen etwa 5 bis 20°C je min.

[0043] Erfindungsgemäß werden zur gezielten Aufheizung des SCR-Katalysators **8** bei einem Kaltstart und/oder einem sich daran anschließenden Warmlauf bzw. Kaltlauf mehrere normalerweise eingestellte Motorbetriebsgrößen derart verändert, dass ein gegenüber dem normalen Betrieb stärker erhitztes Abgas resultiert. Bevorzugt werden in einem nachfolgend als Kaltstartmotorbetriebsverfahren bezeichneten Verfahren eine oder mehrere der folgenden Maßnahmen ergriffen:

- Schließen des in der Abgasleitung **4** angeordneten Drosselelements entsprechend einer Verringerung des freien Durchflussquerschnitts um 10% bis 95%, insbesondere lastabhängig, mit stärkerer Drosselung bei geringer Last. Besonders bevorzugt ist ein Schließen des Drosselelements derart, dass ein Staudruck von 1 bar bis 4 bar, insbesondere von 2 bar bis 3 bar resultiert.
- Schließen des in der Luftzufuhrleitung **3** angeordneten Drosselelements entsprechend einer Verringerung des freien Durchflussquerschnitts um 10% bis 95%, vorzugsweise 30% bis 70%.
- Reduzierung des vom Abgasturbolader gelieferten Ladedrucks, gegebenenfalls bis zum Erreichen der Laufgrenze oder einer vorgebbaren Rußgrenze, vorzugsweise entsprechend einer Schwärzungszahl von 1 oder mehr.
- Betätigung des Gridheaters in der AGR-Leitung.
- Verändern der Steuerzeit der Auslassventile eines oder mehrerer Zylinder des Dieselmotors **1** derart, dass das Auslassventil im Bereich 10°KWnOT bis 75°KWnOT, bevorzugt 40°KWnOT bis 65°KwnOT öffnet.
- Schließen des AGR-Ventils **14**, bevorzugt wenigstens zeitweise vollständig, bei Bedarf vorübergehend oder allmählich öffnend bis zu einem für den Normabetrieb applizierten Öffnungsgrad.
- Durchführung einer ersten Piloteinspritzung, einer auf die erste Piloteinspritzung folgenden zweiten Piloteinspritzung und einer auf die zweite Piloteinspritzung folgenden Haupteinspritzung von Kraftstoff in die Zylinder des Dieselmotors derart,

dass eine Schwerpunktslage der Kraftstoffverbrennung nach dem oberen Totpunkt des Kompressionstakts resultiert.

[0044] Insbesondere bei niedrigen Außentemperaturen von –10°C oder weniger ist es besonders bevorzugt, wenn für einen Kaltstart und eine sich daran anschließende Warmlauf- bzw. Kaltlaufphase entsprechend dem zuletzt genannte Punkt eine spezielle Einstellung von Kraftstoffeinspritzparametern erfolgt, wie nachfolgend unter Bezug auf das in Fig. 5 dargestellte Diagramm näher erläutert wird.

[0045] Im Diagramm von Fig. 5 sind im oberen Teil eine Wärmefreisetzung dQ in einem Zylinder des Dieselmotors **1** und im unteren Teil Ansteuerimpulse I_{injek} des entsprechenden Kraftstoffinjektors in Abhängigkeit von Zeit, umnormiert auf Grad Kurbelwinkel KW, schematisch dargestellt.

[0046] Das erfindungsgemäße Kaltstartmotorbetriebsverfahren mit entsprechend gewählten Einspritzparametern ist als teilhomogenes Brennverfahren mit wenigstens zwei Piloteinspritzungen PE1, PE2 und wenigstens einer Haupteinspritzung HE von Kraftstoff in die Brennräume des Dieselmotors ausgelegt. Dabei erfolgt bevorzugt die erste Piloteinspritzung PE1 derart zu einem frühen Zeitpunkt im Kompressionstakt, dass sich im weiteren Verlauf des Kompressionstakts ein überwiegend homogenes zündfähiges Luft-Kraftstoffgemisch und nach einer gewissen Zündverzögerung ein homogene Verbrennung des homogenen Gemisches mit einer Wärmefreisetzung, gekennzeichnet durch den mit V_{PE1} bezeichneten Pfeil ergibt.

[0047] Die zweite Piloteinspritzung PE2 erfolgt bevorzugt etwa am oberen Totpunkt des Kompressionstakts zu einem Zeitpunkt, bei welchem Infolge der Verbrennung der zuvor eingespritzten Kraftstoffmenge der ersten Piloteinspritzung PE1 eine deutliche Temperaturanhebung im Brennraum eingetreten ist. Die Haupteinspritzung HE erfolgt abgesetzt zur zweiten Piloteinspritzung PE2 analog einem Zeitpunkt, bei welchem infolge der Verbrennung der zuvor eingespritzten zweiten Piloteinspritzung PE2 eine weitere deutliche Wärmefreisetzung, gekennzeichnet durch den mit V_{PE2} bezeichneten Pfeil im Brennraum eingetreten ist. Auf diese Weise ist eine Entflammung des eingespritzten Kraftstoffs auch bei sehr niedrigen Temperaturen von –20°C und weniger sichergestellt.

[0048] Die Verbrennung der Haupteinspritzung HE erfolgt bevorzugt in konventioneller Diffusionsverbrennung. Dabei kann es vorgesehen sein, die Haupteinspritzung HE in mehrere Teileinspritzungen derart aufzuteilen, dass eine gestaffelte Verbrennung resultiert. Dabei ist es besonders bevorzugt, wenn die Einspritzmenge jeder Teileinspritzung der Haupteinspritzung HE größer als die Einspritzmenge der vorangegangenen Teileinspritzung eingestellt wird.

[0049] Die erste Piloteinspritzung PE1 erfolgt bevorzugt in einem Kurbelwinkelbereich von 20°KWvOT bis 40°KWvOT. Die Einspritzmenge der ersten Piloteinspritzung PE1 wird dabei bevorzugt etwa im Bereich von 5% bis 25% der Einspritzmenge der Haupteinspritzung HE gewählt. Die zweite Piloteinspritzung PE2 erfolgt bevorzugt im Bereich des oberen Totpunkts in einem Kurbelwinkelbereich von 5°KWvOT bis 5°KWnOT, jedoch frühestens nach Zündung des mit der ersten Piloteinspritzung PE1 eingespritzten Kraftstoffs. Die Einspritzmenge der zweiten Piloteinspritzung PE2 wird dabei bevorzugt etwa im Bereich von 2% bis 15% der Einspritzmenge der Haupteinspritzung HE gewählt.

[0050] Abweichend von der im Diagramm von Fig. 5 gezeigten Darstellung wird der Spritzbeginn der Haupteinspritzung HE typischerweise in einem Kurbelwinkelbereich von 5°KWnOT bis 20°KWnOT gewählt, so dass sich eine vergleichsweise späte Verbrennungslage ergibt. Dabei kann mit dem Zeitpunkt des Ansteuerbeginns für den Kraftstoffinjektor die Abgasaufheizung gezielt eingestellt werden, so dass die angestrebte Aufheizrate des SCR-Katalysators **8** zuverlässig erzielt werden kann. Bei einer gegebenenfalls vorgenommenen Aufteilung der Haupteinspritzung HE in zwei Teileinspritzungen erfolgt die zweite Teileinspritzung angelagert an die erste Teileinspritzung in einem Kurbelwinkelbereich von 25°KWnOT bis 60°KWnOT. Dadurch ergibt sich mit ca. 20°KWnOT eine vergleichsweise späte Lage des Verbrennungsschwerpunkts, wodurch eine gezielte Aufheizung der Abgasreinigungsanlage **2** und des SCR-Katalysators **8** ermöglicht ist. Mit steigender Motorlast ist bevorzugt eine weitere Spätverschiebung des Verbrennungsschwerpunkts vorgesehen.

[0051] Mit dem erfindungsgemäßen Kaltstartmotorbetriebsverfahren ist eine gezielte Aufheizung der Abgasreinigungsanlage **2** und des SCR-Katalysators **8** auch bei sehr niedrigen Temperaturen und bei niedrigen Motorlasten ermöglicht. Eine Aufheizung zur Vermeidung unerwünscht hoher NO_2-Desorptionsspitzen ist damit auch unabhängig von der Einstellung bestimmter Fahrzustände ermöglicht. Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, bei Erreichen einer vorgebbaren Schwellentemperatur für den SCR-Katalysator **8** das Kaltstartmotorbetriebsverfahren zu deaktivieren. Unter einer Deaktivierung ist dabei das Beenden wenigstens eines Teils der oben genannten Maßnahmen zu verstehen. Damit ist eine Begrenzung eines durch das Kaltstartmotorbetriebsverfahren verursachten Kraftstoffmehrverbrauchs ermöglicht. Eine Deaktivierung des Kaltstartmotorbetriebsverfahrens ist auch dann vorgesehen, wenn die Motorlast einen vorgegebenen oder vorgebbaren Grenzwert von etwa 30% der Nennlast überschreitet. In diesem Fall erfolgt meist ohnehin eine natürlich Er-

wärmung der Abgasreinigungsanlage **2** und des SCR-Katalysators **8**.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 19749400 A1 **[0002]**

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einer einen SCR-Katalysator umfassenden Abgasreinigungsanlage, bei welchem in Verbindung mit einem Kaltstart und/oder einem Warmlauf der Brennkraftmaschine (**1**) die Brennkraftmaschine (**1**) mit einem Kaltstartmotorbetriebsverfahren mit vorgebbaren Werten für vorgebbare Brennkraftmaschinenbetriebsgrößen betrieben wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Abschätzung einer Stickoxid-Speichermenge von im SCR-Katalysator (**8**) gespeicherten Stickoxiden erfolgt und das Kaltstartmotorbetriebsverfahren aktiviert wird, wenn die Abschätzung ergibt, dass die Stickoxid-Speichermenge einen vorgebbaren Stickoxid-Speichermengengrenzwert überschreitet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei aktiviertem Kaltstartmotorbetriebsverfahren Werte von Brennkraftmaschinenbetriebsgrößen derart vorgegeben werden, dass der SCR-Katalysator (**8**) durch von der Brennkraftmaschine (**1**) abgegebene Abgase so aufgeheizt wird, dass ein vorgebbarer Desorptionsratenwert für eine sich infolge der Aufheizung des SCR-Katalysators (**8**) ergebende Rate von vom SCR-Katalysator (**8**) desorbierenden Stickstoffdioxid oder eine vorgebbare Maximalkonzentration von Stickstoffdioxid in dem an die Umgebung abgegebenen Abgas unterschritten wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Aufheizung des SCR-Katalysators (**8**) ein vorgebbarer Aufheizgradientenmaximalwert für einen Aufheizgradienten des SCR-Katalysators (**8**) unterschritten wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschätzung der Stickoxid-Speichermenge auf einer Betriebsdauer der Brennkraftmaschine (**1**) mit einer ständig eine vorgebbare insbesondere erste Schwellentemperatur unterschreitenden Temperatur für den SCR-Katalysator (**8**) beruht.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass als Stickoxid-Speichermengengrenzwert ein Bruchteil einer Stickoxid-Speicherkapazität (κ) des SCR-Katalysators (**8**) vorgegeben wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass nach Erreichen einer vorgebbaren insbesondere zweiten Schwellentemperatur für den SCR-Katalysator (**8**) das Kaltstartmotorbetriebsverfahren deaktiviert wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass bei Durchführung des Kaltstartmotorbetriebsverfahrens eine Mehrfacheinspritzung von Kraftstoff in einen oder mehrere Zylinderbrennräume der Brennkraftmaschine (**1**) vorgenommen wird, welche innerhalb eines Arbeitsspiels des jeweiligen Zylinders eine erste Piloteinspritzung (PE1), eine auf die erste Piloteinspritzung folgende zweite Piloteinspritzung (PE2) und eine auf die zweite Piloteinspritzung (PE2) folgende Haupteinspritzung (HE) umfasst

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Piloteinspritzung (PE1) in einem Kurbelwellenwinkelbereich von größer als 20 Grad vor einem oberen Totpunkt im Kompressionstakt des jeweiligen Zylinders erfolgt.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Piloteinspritzung (PE2) zu einem Zeitpunkt nach dem Beginn eines Wärme freisetzenden Umsatzes von durch die erste Piloteinspritzung (PE1) eingespritztem Kraftstoff erfolgt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Haupteinspritzung (HE) zu einem Zeitpunkt nach dem Beginn eines Wärme freisetzenden Umsatzes von durch die zweite Piloteinspritzung (PE2) eingespritztem Kraftstoff erfolgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchführung des Kaltstartmotorbetriebsverfahrens in einem vorgebbaren Schwachlastbereich der Brennkraftmaschine (**1**) erfolgt und das Kaltstartmotorbetriebsverfahren bei einer Brennkraftmaschinenlast oberhalb des Schwachlastbereichs deaktiviert wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

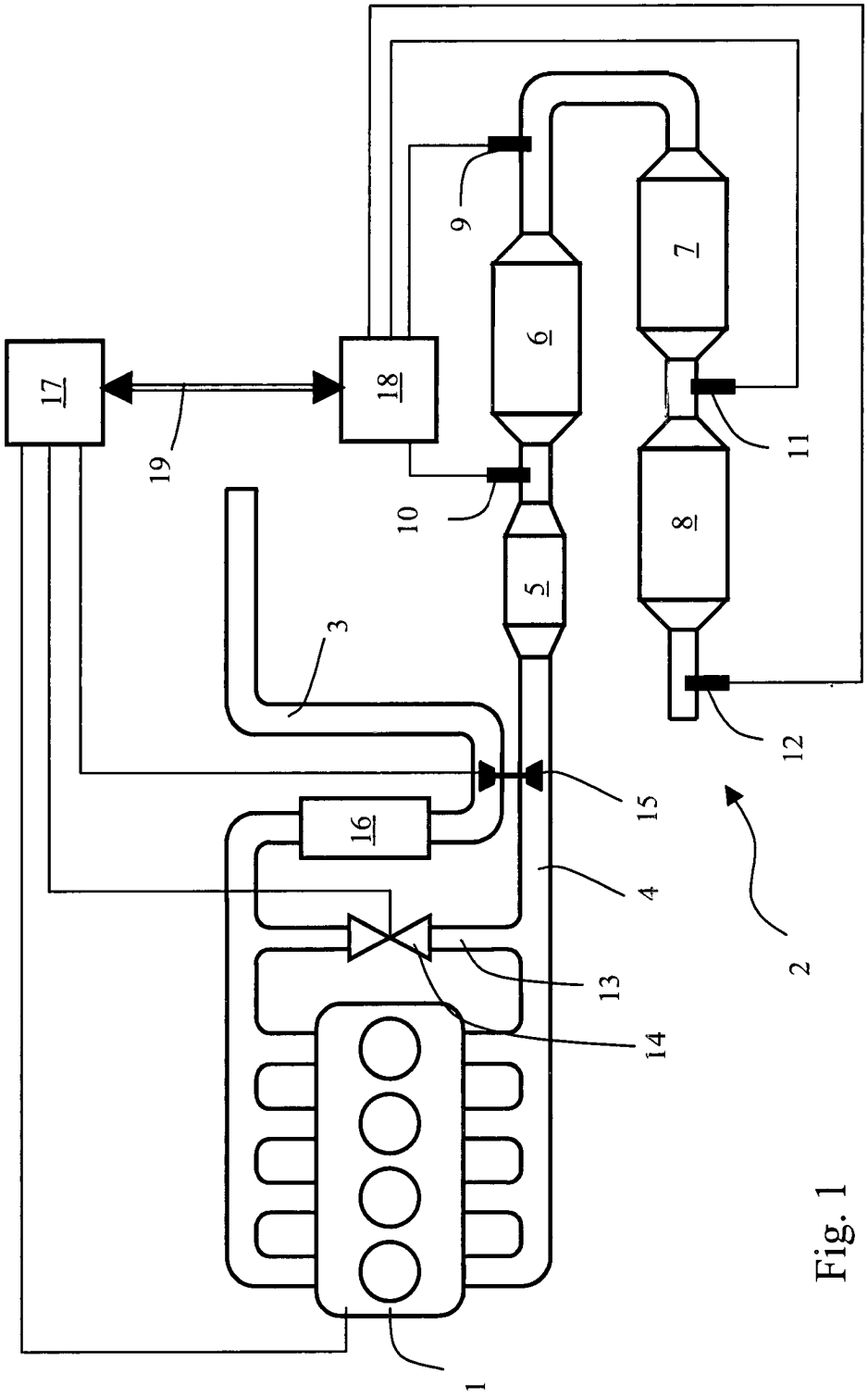


Fig. 1

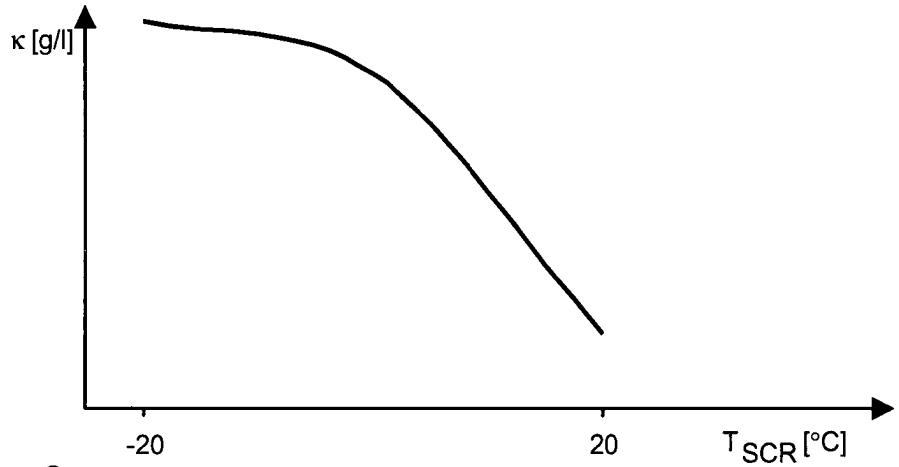


Fig. 2

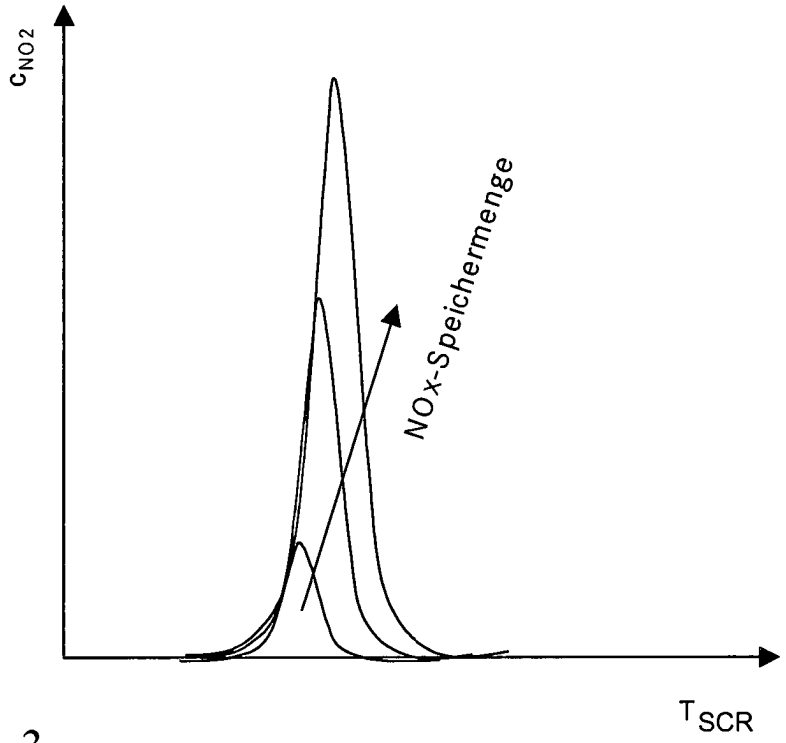


Fig. 3

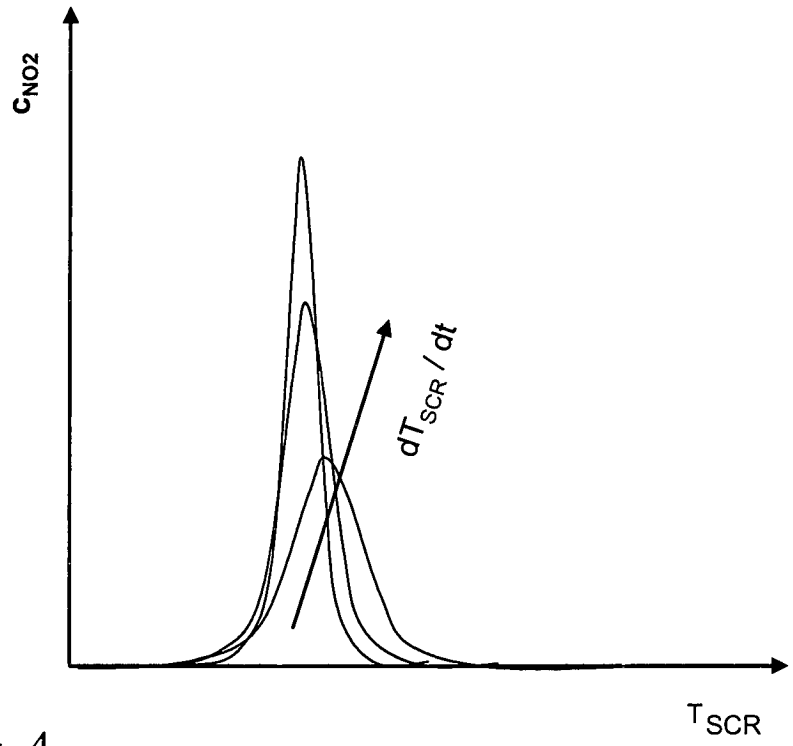

c_{NO2}
dT_{SCR}/dt
T_{SCR}

Fig. 4

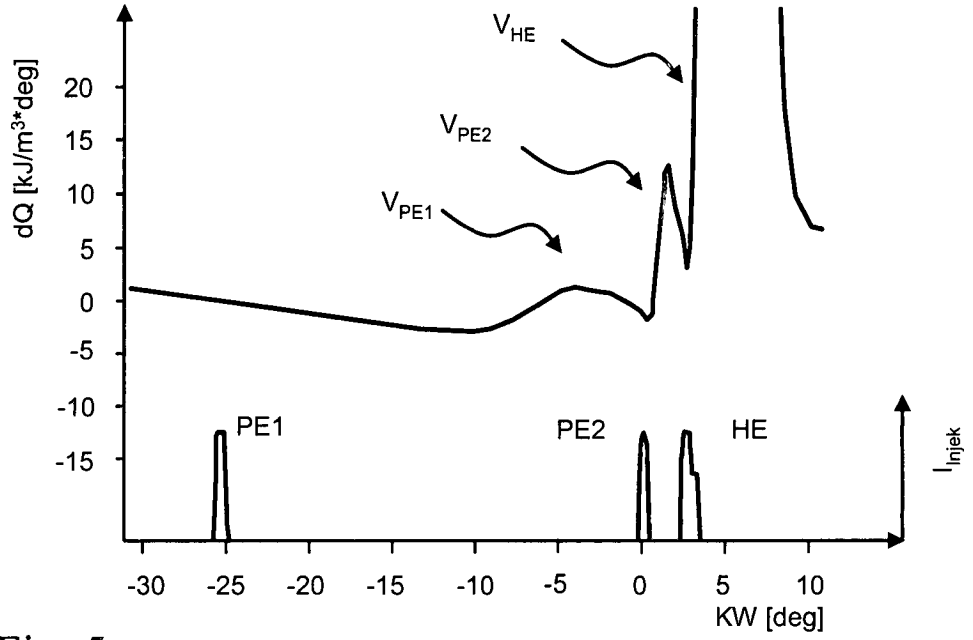

dQ [kJ/m³*deg]
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
V_{HE}
V_{PE2}
V_{PE1}
PE1
PE2
HE
I_{Injek}
-30
-25
-20
-15
-10
-5
0
5
10
KW [deg]

Fig. 5