

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50134/2022
(22) Anmeldetag: 02.03.2022
(43) Veröffentlicht am: 15.08.2023

(51) Int. Cl.: **F01N 3/20** (2006.01)
F01N 13/16 (2010.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2014016616 A1
CN 207761768 U
DE 102018122875 A1
WO 2020221682 A1

(71) Patentanmelder:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)
(72) Erfinder:
WANCURA Hannes Dipl.-Ing.
8113 St. Oswald bei Plankenwarth (AT)
KREIS Christoph Dipl.-Ing.
8114 Friesach bei Peggau (AT)
(74) Vertreter:
Gamper Bettina Dr.
8020 Graz (AT)

(54) **Abgasreinigungsanlage für ein von einem Dieselmotor angetriebenes Kraftfahrzeug und Betriebsverfahren hierfür**

(57) Die Erfindung betrifft eine Abgasreinigungsanlage (2) für ein von einem Dieselmotor (1) angetriebenes Kraftfahrzeug, umfassend ein erstes SCR-System (10) und ein strömungstechnisch nachgeschaltetes zweites SCR-System (11), denen jeweils ein vorgeschaltetes Dosierventil (12, 13) zur Zufuhr eines NO_x-Reduktionsmittels zum Abgas zugeordnet ist, wobei das erste SCR-System (10) einen mit einer SCR-katalytisch wirksamen Beschichtung versehenen Partikelfilter (7) sowie einem dem Partikelfilter (7) unmittelbar vorgeschalteten oder unmittelbar nachgeschalteten SCR-Katalysator (6) aufweist und das zweite SCR-System (11) einen SCR-Katalysator (8) und einen Oxidationskatalysator (9) umfasst, wobei als SCR-katalytische Aktivkomponente für den Partikelfilter (7) und den SCR-Katalysator (6) des ersten SCR-Systems (10) Kupfer und für das zweite SCR-System (11) Vanadium vorgesehen ist und das Volumen des SCR-Katalysators (8) des zweiten SCR-Systems (11) um das drei- bis zehn-fache größer als das Volumen des SCR-Katalysators (6) des ersten SCR-Systems (10) ist.

Bei dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren wird ein Großteil einer NO_x-Rohemission des Dieselmotors (1) durch das zweite SCR-System (11) aus dem Abgas entfernt wird, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) in einem vorgebbaren Temperaturbereich liegt.

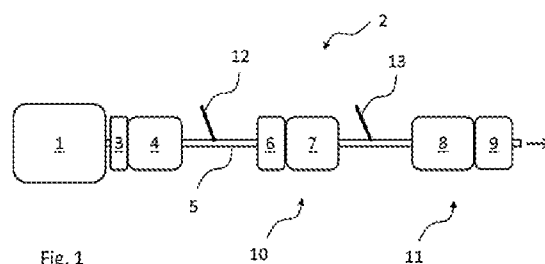


Fig. 1

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Abgasreinigungsanlage (2) für ein von einem Dieselmotor (1) angetriebenes Kraftfahrzeug, umfassend ein erstes SCR-System (10) und ein strömungstechnisch nachgeschaltetes zweites SCR-System (11), denen jeweils ein vorgeschaltetes Dosierventil (12, 13) zur Zufuhr eines NO_x-Reduktionsmittels zum Abgas zugeordnet ist, wobei das erste SCR-System (10) einen mit einer SCR-katalytisch wirksamen Beschichtung versehenen Partikelfilter (7) aufweist und das zweite SCR-System (11) einen SCR-Katalysator (8) und einen Oxidationskatalysator (9) umfasst.

Erfindungsgemäß ist als SCR-katalytische Aktivkomponente für das erste SCR-System (10) Kupfer und für das zweite SCR-System (11) Vanadium vorgesehen.

Bei dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren wird ein Großteil einer NO_x-Rohemission des Dieselmotors (1) durch das zweite SCR-System (11) aus dem Abgas entfernt wird, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) in einem vorgebbaren Temperaturbereich liegt.

Fig. 1

Abgasreinigungsanlage für ein von einem Dieselmotor angetriebenes Kraftfahrzeug und Betriebsverfahren hierfür

Die Einhaltung von sich zunehmend verschärfenden Schadstoffgrenzwerten macht insbesondere bei Kraftfahrzeug-Dieselmotoren zunehmend komplexere und speziell designte Abgasreinigungsanlagen und Betriebsverfahren hierfür erforderlich.

So wird beispielsweise in der DE 10126456 A1 eine Abgasreinigungsanlage für einen Dieselmotor vorgeschlagen, welche zwei strömungstechnisch hintereinander angeordnete SCR-Systeme mit jeweils zugeordneten Reduktionsmittel-Dosierventilen zur Zugabe von Reduktionsmittel ins Abgas aufweist. Weiterhin können ein Partikelfilter und Oxidationskatalysatoren vorgesehen sein.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine dementsprechende Abgasreinigungsanlage derart weiterzuentwickeln, dass eine weiter verringerte Endrohr-Emission von Stickoxiden (NO_x) und insbesondere eine besonders niedrige Emission von Lachgas (N₂O) ermöglicht sind. Ferner ist es Aufgabe der Erfindung, ein entsprechendes Betriebsverfahren hierfür anzugeben.

Diese Aufgaben werden durch eine Abgasreinigungsanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 8 gelöst.

Die erfindungsgemäße Abgasreinigungsanlage weist ein erstes SCR-System und ein strömungstechnisch nachgeschaltetes zweites SCR-System auf, denen jeweils ein vorgeschaltetes Dosierventil zur Zufuhr eines NO_x-Reduktionsmittels zum Abgas zugeordnet ist, wobei das erste SCR-System einen mit einer SCR-katalytisch wirksamen Beschichtung versehenen Partikelfilter aufweist und das zweite SCR-System einen SCR-Katalysator und einen Oxidationskatalysator umfasst.

Erfindungsgemäß ist als SCR-katalytische Aktivkomponente für das erste SCR-System Kupfer und für das zweite SCR-System Vanadium vorgesehen.

Die erfindungsgemäße Ausgestaltung beruht auf einer von den Erfindern in einer Vielzahl von Versuchen gewonnenen Erkenntnis, dass vanadiumhaltige SCR-Kataly-

satoren bei einer NO_x-Reduktion weniger N₂O bilden als SCR-Katalysatoren mit anderen Übergangsmetallen, und insbesondere mit Kupfer als SCR-katalytischer Aktivkomponente. Die stromaufwärtige Anordnung des mit Kupfer als Aktivkomponente ausgeführten ersten SCR-Systems trägt der Tatsache Rechnung, dass derartige SCR-Systeme einer höheren Temperaturbelastung standhalten können als SCR-Systeme, welche Vanadium als Aktivkomponente enthalten. Infolge dieser Anordnung ist eine hohe NO_x-Verminderung in einem weiten Temperaturbereich bei gleichzeitig niedriger Lachgasbildung ermöglicht.

Als NO_x-Reduktionsmittel wird bevorzugt eine Substanz eingesetzt, welche NH₃ enthält oder aus der NH₃ durch Thermolyse und/oder Hydrolyse im Abgas freigesetzt werden kann. Vorzugsweise wird eine wässrige Harnstofflösung eingesetzt.

In Ausgestaltung der Erfindung weist das erste SCR-System einen dem Partikelfilter unmittelbar vorgeschalteten oder unmittelbar nachgeschalteten SCR-Katalysator auf. Dadurch ist eine weiter verbesserte NO_x-Verminderung ermöglicht.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung weist der SCR-Katalysator des zweiten SCR-Systems ein größeres Volumen als der SCR-Katalysator des ersten SCR-Systems auf. Dadurch kann in weiten Betriebsbereichen der SCR-Katalysator des zweiten SCR-Systems einen größeren Beitrag zur gesamten NO_x-Verminderung leisten, wodurch eine besonders niedrige Lachgasbildung ermöglicht ist. Dabei ist es in weiterer Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass das Volumen des SCR-Katalysators des zweiten SCR-Systems um das drei- bis zehn-fache größer als das Volumen des SCR-Katalysators des ersten SCR-Systems ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist der SCR-Katalysator des zweiten SCR-Systems ein größeres Volumen als der Hubraum des Dieselmotors auf. Speziell kann das Volumen um das drei- bis fünffache größer als der Hubraum des Verbrennungsmotors sein. Dabei bezieht sich die Dimensionierung vorzugsweise auf einen Motor mit einer hubvolumenspezifischen Nennleistung von etwa 70 kW/l.

In weiterer Ausgestaltung ist vorgesehen, für das Volumen des Partikelfilters das ein- bis vierfache des Volumens des SCR-Katalysators des ersten SCR-Systems zu wählen.

Bei dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren einer Abgasreinigungsanlage eines dieselmotorisch angetriebenen Kraftfahrzeugs, welche ein erstes, Kupfer als SCR-katalytische Aktivkomponente aufweisendes SCR-System und ein nachgeschaltetes zweites, Vanadium als SCR-katalytische Aktivkomponente aufweisendes SCR-System umfasst, wird ein Großteil einer NO_x-Rohemission des Dieselmotors durch das zweite SCR-System aus dem Abgas entfernt, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems in einem vorgebbaren Temperaturbereich liegt. Speziell kann es in Ausgestaltung des Verfahrens vorgesehen sein, dass wenigstens 80 % der NO_x-Rohemission des Dieselmotors vom zweiten SCR-System aus dem Abgas entfernt werden, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems in dem vorgebbaren Temperaturbereich liegt. Diese Betriebsweise ermöglicht eine besonders niedrige Lachgasemission.

In einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens ist es vorgesehen, dass für den vorgebbaren Temperaturbereich eine Temperaturuntergrenze von etwa 250 °C und eine Temperaturobergrenze von etwa 450 °C gewählt werden. Damit wird typischerweise ein Großteil des Motorbetriebsbereichs abgedeckt und somit insgesamt eine niedrige Lachgasemission sichergestellt.

In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens wird dem ersten SCR-System eine Reduktionsmittelmenge zugeführt, die weniger als 25 % der Reduktionsmittelmenge beträgt, welche bei der jeweiligen Temperatur des ersten SCR-Systems für eine maximale NO_x-Reduktion erforderlich ist, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems in dem vorgegebenen Temperaturbereich liegt. Dadurch kann ein Großteil der von der Abgasreinigungsanlage geleisteten NO_x-Reduktion bei gleichzeitig resultierender niedriger Lachgasbildung auf das zweite SCR-System verlagert werden.

In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens wird dem ersten SCR-System zur NO_x-Reduktion eine einstellbare Reduktionsmittelmenge zugeführt, wobei zur Einstellung

der Reduktionsmittelmenge eine NO_x-Konzentration im dem ersten SCR-System zugeführten Abgas herangezogen wird, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems in dem vorgegebenen Temperaturbereich liegt. Dabei ist hier und im Folgenden unter einer zugeführten Reduktionsmittelmenge ein zeitbezogener Reduktionsmittelmengenstrom zu verstehen. Eine Einstellung der Reduktionsmittelzufuhrmenge kann durch eine insbesondere sensorgestützte Rückführregelung erfolgen. Es kann jedoch auch eine gesteuerte Reduktionsmittelzufuhr vorgesehen sein, welche beispielsweise auf vorab gespeicherten Kennlinien oder Kennfeldern oder einer sog. lookup table beruht.

In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens wird dabei ein Molenbruch α aus als NH₃ berechnetem, dem ersten SCR-System zugeführtem Reduktionsmittel und NO_x-Konzentration im dem ersten SCR-System zugeführten Abgas vorgegeben. Dabei wird in einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens der Molenbruch α in Abhängigkeit von der in einem vorgebbaren Fahrzyklus vom Dieselmotor abgegebenen fahrstreckenbezogenen NO_x-Rohemission vorgegeben. Damit kann auf vorteilhafte Weise die Reduktionsmitteldosierung auf eine NO_x-Rohemission des jeweiligen Dieselmotors angepasst werden. Speziell kann es in einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens vorgesehen sein, dass ein Molenbruch α gewählt wird, der 0,2 oder weniger beträgt.

In einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens wird dem zweiten SCR-System zur NO_x-Reduktion eine einstellbare Reduktionsmittelmenge zugeführt, wobei zur Einstellung der Reduktionsmittelmenge eine im zweiten SCR-System gespeicherte NH₃-Menge herangezogen wird, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems in dem vorgegebenen Temperaturbereich liegt. Wie von den Erfindern nachgewiesen wurde, kann durch diese an der NH₃-Speichermenge im zweiten SCR-System orientierten Einstellung der Reduktionsmittelzufuhr eine besonders hohe NO_x-Verminderung erzielt werden.

In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens wird dem ersten SCR-System eine Reduktionsmittelmenge zugeführt wird, die wenigstens annähernd der entspricht, welche für eine maximale NO_x-Reduktion bei der jeweiligen Temperatur des ersten SCR-Systems erforderlich ist, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems weniger

als etwa 225 °C oder mehr als etwa 500 °C beträgt. Damit übernimmt das erste SCR-System den überwiegenden Großteil der NO_x-Konversion, wenn das zweite SCR-System eine Temperatur aufweist, bei der es eine verminderte Wirksamkeit, bzw. bei der höheren Temperatur zusätzlich eine höhere N₂O-Bildung als das erste SCR-System aufweist.

In weiterer Ausgestaltung wird dem ersten SCR-System zur NO_x-Reduktion eine einstellbare Reduktionsmittelmenge zugeführt, wobei zur Einstellung der Reduktionsmittelmenge eine im ersten SCR-System gespeicherte NH₃-Menge herangezogen wird, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems weniger als etwa 225 °C oder mehr als etwa 500 °C beträgt.

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.

Dabei zeigen:

- Fig. 1 ein schematisches Blockbild einer an einen Kraftfahrzeug-Verbrennungsmotor angeschlossenen Abgasreinigungsanlage,
- Fig. 2a ein Diagramm zur Veranschaulichung einer Temperaturabhängigkeit von NO_x-Konversionen eines SCR-Katalysators mit Vanadium als SCR-katalytischer Aktivkomponente,
- Fig. 2b ein Diagramm zur Veranschaulichung einer Temperaturabhängigkeit von NO_x-Konversionen eines SCR-Systems mit Kupfer als SCR-katalytischer Aktivkomponente und
- Fig. 2c ein Diagramm zur Veranschaulichung einer Temperaturabhängigkeit von bei dem ersten SCR-System eingestellter Reduktionsmitteldosiermenge.

Fig. 1 zeigt beispielhaft ein schematisches Blockbild eines Verbrennungsmotors 1 eines nicht dargestellten Kraftfahrzeugs mit zugehöriger Abgasreinigungsanlage 2. Der Verbrennungsmotor 1 ist vorzugsweise als luftverdichtende Brennkraftmaschine, nachfolgend vereinfacht als Dieselmotor bezeichnet, ausgebildet. Vorzugsweise ist vorgesehen, dass der Dieselmotor eine hubraumbezogene Nennleistung von etwa 70 kW/l aufweist. Das vom Dieselmotor 1 ausgestoßene Abgas wird von einer Abgasleitung 5 aufgenommen und durchströmt nacheinander ein elektrisches Heizelement, einen ersten Oxidationskatalysator 4, ein erstes SCR-System 10 und ein zweites SCR-System 11. Das erste SCR-System 10 weist vorliegend unmittelbar hintereinander angeordnet einen ersten SCR-Katalysator 6 und nachgeschaltetes Partikelfilter 7 auf. Es kann jedoch auch eine umgekehrte Reihenfolge von Partikelfilter 7 und SCR-Katalysator 6 vorgesehen sein oder auf den SCR-Katalysator 6 verzichtet werden. Als zusätzliches Bauteil kann für das erste SCR-System 10 ein als NH_3 -Sperkatalysator ausgeführter Oxidationskatalysator vorgesehen sein. Vorzugsweise sind die Bauteile des ersten SCR-Systems 10 eng benachbart in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet.

Das zweite SCR-System 11 weist unmittelbar hintereinander angeordnet einen zweiten SCR-Katalysator 8 und einen zweiten Oxidationskatalysator 9, welcher insbesondere als ASC oder CU ausgebildet ist, auf. Diese Bauteile sind vorzugsweise ebenfalls eng benachbart in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet.

Das elektrische Heizelement 3 und der erste Oxidationskatalysator 4 sind vorliegend motornah, d.h. in einem Motorraum nahe am Abgasaustritt aus dem Dieselmotor 1 bzw. einer Abgasturboladerturbine angeordnet. Ebenfalls relativ motornah, d. h. ebenfalls in einem Motorraum ist das erste SCR-System 10 angeordnet, während das zweite SCR-System 11 vorliegend motorfern, außerhalb des Motorraums und vorzugsweise in einem Unterbodenbereich des Kraftfahrzeugs angeordnet ist.

Weiterhin umfasst die Abgasreinigungsanlage ein erstes Reduktionsmittel-Dosierventil 12 sowie ein zweites Reduktionsmittel-Dosierventil 13, welche dem ersten SCR-System 10 bzw. dem zweiten SCR-System 11 vorgeschaltet sind. Somit ist das erste Reduktionsmittel-Dosierventil 12 strömungsmäßig zwischen dem ersten

Oxidationskatalysator 4 und dem ersten SCR-System 10 angeordnet. Das zweite Reduktionsmittel-Dosierventil 13 ist strömungsmäßig zwischen dem ersten SCR-System 10 und dem zweiten SCR-System 11 angeordnet. Die Reduktionsmittel-Dosierventile 12, 13 können ein der NO_x-Reduktion dienendes Reduktionsmittel fein verteilt in die Abgasleitung 5 einsprühen und sind hierfür an einen Reduktionsmittelbehälter angeschlossen, was nicht gesondert dargestellt ist. Als NO_x-spezifisches Reduktionsmittel wird eine Substanz eingesetzt, welche NH₃ enthält oder aus der NH₃ durch Thermolyse und/oder Hydrolyse im Abgas freigesetzt werden kann. Nachfolgend wird ohne Einschränkung der Allgemeinheit davon ausgegangen, dass es sich bei dem Reduktionsmittel um wässrige Harnstofflösung handelt. Für eine möglichst gleichmäßige Verteilung der über die Dosierventile 12, 13 dem Abgas zugeführten Harnstofflösung können Mischer zwischen dem ersten Dosierventil 12 und dem ersten SCR-System 10 bzw. dem zweiten Dosierventil 13 und dem zweiten SCR-System 11 in der Abgasleitung 5 vorgesehen sein, was hier nicht gesondert dargestellt ist.

Eine mengenmäßig geregelte Dosierung des Reduktionsmittels kann durch entsprechende Ansteuerung der Reduktionsmittel-Dosierventile 12, 13 und/oder einer nicht dargestellten jeweiligen Fördereinheit erfolgen. Hierzu sind in der Abgasreinigungsanlage 2 diverse Sensoren für Temperatur, NO_x- und NH₃-Konzentration vorgesehen, deren Signale von einem Steuergerät ausgewertet werden und zur Einstellung von Betriebsparametern und insbesondere der Reduktionsmittel-Dosiermenge herangezogen werden, was hier der Übersichtlichkeit halber nicht näher dargestellt ist.

Das elektrische Heizelement 3 ist bevorzugt als kompakte separate Baueinheit ausgeführt. Es weist bevorzugt als Widerstandsheizung ausgebildete beheizte Bestandteile auf, die von Abgas angeströmt bzw. umströmt werden können, so dass eine effektive Wärmeübertragung auf das Abgas und damit auf stromab angeordneten Bauteile ermöglicht ist. Prinzipiell können alle gebräuchlichen Arten von Heizelementen eingesetzt werden. Eine vorteilhafte Ausführungsform ist ein Metallfolien-Trägerkörper. Von Abgas an- bzw. umströmbare Flächen können dabei eine katalytisch wirksame Beschichtung aufweisen. Das elektrische Heizelement 3 dient insbesondere der raschen Abgasaufheizung in Verbindung mit einem Kaltstart oder Warmlauf

des Dieselmotors 1 sowie der Unterstützung einer thermisch induzierten Rußregeneration des Partikelfilters 7. Das elektrische Heizelement 3 weist vorliegend eine Anschlussleitung von etwa 4 kW auf.

Die Katalysatoren 4, 6, 8 und 9 sind bevorzugt als insbesondere keramische Wabenkörper mit durchgehenden, parallelen Kanälen ausgebildet. Dabei sind die mit dem Abgas in Kontakt kommenden Kanalwände mit einer Trägersubstanz mit hoher spezifischer Oberfläche beschichtet, welche eine jeweils spezifische katalytisch wirksame Substanz enthält. Als katalytisch wirksame Substanz der Oxidationskatalysatoren 4, 9 kann es sich um ein fein dispergiertes Metall der Platingruppe wie Platin, Palladium und/oder Rhodium handeln. Vorteilhaft kann der Oxidationskatalysator 9 mit einer Platinbeschichtung ausgebildet sein, wobei diese eine geringe Menge von beispielsweise 5 g/ft³ bis 10 g/ft³ aufweist. Beim ersten Oxidationskatalysator 4 bewirkt die oxidationskatalytisch wirksame Beschichtung einerseits einer Oxidation eines Anteils von im Abgas enthaltenem Stickstoffmonoxid (NO) zu Stickstoffdioxid (NO₂), was eine NO_x-Reduktion insbesondere an dem nachgeschalteten ersten SCR-System 10 speziell bei niedrigen Temperaturen verbessert. Andererseits kann durch Oxidation von dem Abgas gezielt zugeführten unverbrannten Kohlenwasserstoffen eine Abgastemperaturanhebung für eine thermische Rußregeneration des Partikelfilters 7 erreicht werden. Die oxidationskatalytisch wirksame Beschichtung des zweiten Oxidationskatalysators 9 bewirkt insbesondere eine Oxidation von gegebenenfalls im Abgas verbliebenen NH₃-Resten oder beispielsweise bei einer raschen Temperaturerhöhung vom zweiten SCR-Katalysator 8 desorbiertem NH₃.

Der Partikelfilter 7 ist bevorzugt als wanddurchströmter Filter in Wabenkörperbauweise (sog. wall-flow Filter) mit eingangsseitig und ausgangseitig wechselweise verschlossenen Kanälen ausgebildet. Der Partikelfilter 7 weist eine SCR-katalytisch wirksame Beschichtung auf, welche auf den Rohgasseiten und/oder Reingasseiten der filterwirksamen Kanalwände aufgebracht oder in diese infiltriert ist.

Unter einer SCR-katalytisch wirksamen Beschichtung ist im Rahmen der Erfindung eine Beschichtung zu verstehen, die eine Reduktion von NO_x auch bei Anwesenheit eines Sauerstoffüberschusses im Abgas mit eingespeichertem und/oder zugeführtem

NH_3 als NO_x -selektivem Reduktionsmittel katalysieren kann. Bei der SCR-katalytisch wirksamen Beschichtung handelt es sich bevorzugt um einen Zeolithen und/oder einen Oxid, welcher eine SCR-katalytische Aktivkomponente enthält. Dabei ist vorgesehen, für die SCR-Katalysatoren 6 und 8 sowie für den Partikelfilter 7 Beschichtungen zu wählen, welche eine Einspeicherung von NH_3 ermöglichen. Vorliegend weisen der Partikelfilter 7 sowie der erste SCR-Katalysator 6 Kupfer als SCR-katalytische Aktivkomponente auf. Hingegen weist der zweite SCR-Katalysator 8 Vanadium als SCR-katalytische Aktivkomponente auf. Mit Vanadium als SCR-katalytischer Aktivkomponente ist eine besonders niedrige Lachgasbildung bei der NO_x -Reduktion ermöglicht. Dies macht sich ganz besonders positiv mit Blick auf die gesamte Lachgasemission bemerkbar, wenn wie vorliegend vorgesehen der zweite SCR-Katalysator 8 mit einer solchen Beschichtung versehen ist. Mit Kupfer als katalytischer Aktivkomponente im stärker thermisch belasteten ersten SCR-System 10 wird der Vorteil einer relativ hohen Temperaturbeständigkeit einer solchen Beschichtung ausgenutzt.

Was die Größenverhältnisse der Bauteile betrifft, so ist vorgesehen einerseits den zweiten SCR-Katalysator 8 deutlich größer auszuführen als den ersten SCR-Katalysator 6. Vorzugsweise wird das Volumen des zweiten SCR-Katalysators 8 etwa drei- bis zehnfach, besonders bevorzugt etwa 5-fach größer gewählt als das Volumen des ersten SCR-Katalysators 6. Damit kann in weiten Betriebsbereichen des Dieselmotors 1 eine besonders niedrige Lachgasemission erzielt werden. Dabei ist es vorteilhaft, die Größe des zweiten SCR-Katalysators 8 in Abhängigkeit vom Hubvolumen des Dieselmotors 1 zu wählen. Es ist vorgesehen, das Volumen des zweiten SCR-Katalysators 8 etwa drei- bis fünfmal größer als das Hubvolumen des Dieselmotors 1 zu wählen.

Andererseits ist es vorgesehen, die Größenverhältnisse von Partikelfilter 7 und erstem SCR-Katalysator 6 so aufeinander abzustimmen, dass optimale Ergebnisse in Bezug auf Partikelverminderung und NO_x -Verminderung erzielt werden können. Hierzu wird vorliegend der Partikelfilter 7 zumindest genauso groß dimensioniert wie der erste SCR-Katalysator. Bevorzugt ist allerdings ein bis zu etwa vierfach größeres Volumen des Partikelfilters 7.

Nachfolgend wird auf ein bevorzugtes Betriebsverfahren für die erfindungsgemäße Abgasreinigungsanlage 2 eingegangen. Hierzu wird zunächst Bezug auf Fig. 2a genommen, welches in einem Diagramm Verläufe von NO_x-Konversionen des zweiten, Vanadium als katalytische Aktivkomponente aufweisenden SCR-Katalysators 8 in Abhängigkeit von seiner Temperatur zeigt. Dabei wird durch die gestrichelt gezeichnete Linie die Temperaturabhängigkeit der NO_x-Konversion dargestellt, die idealerweise erzielt werden kann. Die gestrichelt gezeichnete Kurve stellt somit die Temperaturabhängigkeit der maximal erreichbaren NO_x-Konversion des zweiten SCR-Katalysators 8 dar. Demgegenüber stellt die durchgezogene Kurve die Temperaturabhängigkeit eines Zielwerts für die NO_x-Konversion des zweiten SCR-Katalysators 8 im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens dar. Wie ersichtlich, wird im Rahmen der Erfindung in einem vorgegebenen Temperaturbereich von etwa 250 °C bis etwa 450 °C wenigstens annähernd der maximal mögliche NO_x-Umsatz angestrebt. Hingegen liegt unterhalb etwa 250 °C und oberhalb etwa 450 °C der Zielwert für die NO_x-Konversion des zweiten SCR-Katalysators 8 unterhalb der maximal möglichen NO_x-Konversion.

Um den Zielwert für die NO_x-Konversion zu erreichen, wird in einem Temperaturbereich von etwa 225 °C bis etwa 475 °C eine an eine NH₃-Speichermenge von im zweiten SCR-Katalysator 8 eingespeicherten NH₃ geknüpfte Reduktionsmitteldosierung über das zweite Reduktionsmittel-Dosierventil 13 vorgenommen. Es erfolgt eine Reduktionsmitteldosierung derart, dass eine vorgebbare Soll-Menge von in der Beschichtung des zweiten SCR-Katalysators 8 eingespeichertem NH₃ eingestellt wird. Um zu erreichen, dass NH₃ in der Beschichtung eingespeichert wird, kann generell eine Dosierung vorgenommen werden, bei welcher der Molenbruch α von NH₃- und NO_x-Konzentration eintrittsseitig des Katalysators zeitweise den Wert von 1,0 überschreitet. Der Zusammenhang zwischen NH₃-Speichermenge und hierfür erforderlicher Reduktionsmitteldosiermenge kann dabei beispielsweise in einem Rechenmodell ermittelt oder einem vorab ermittelten Kennfeld entnommen werden.

Bei Temperaturen von weniger als etwa 225 °C, wie sie etwa bei einem Kaltstart oder Warmlauf oder bei geringer Last des Dieselmotors 1 im zweiten SCR-System 11 vorherrschen, wird hingegen eine demgegenüber reduzierte Reduktionsmittelmenge dosiert. Vorzugsweise wird dabei eine Reduktionsmittelmenge dosiert, welche

einem mit abnehmender Temperatur abnehmendem Molenbruch α von weniger als 1,0 entspricht. Analog wird bei Temperaturen über etwa 475 °C ebenfalls eine verminderte Reduktionsmittelmenge dosiert. Vorzugsweise wird dabei eine Reduktionsmittelmenge dosiert, welche einem mit zunehmender Temperatur abnehmendem Molenbruch α von weniger als 1,0 entspricht. Die entsprechenden höheren Temperaturen können sich etwa bei Fahrten mit hoher Last des Dieselmotors 1 oder bei einer themischen Rußregeneration des Partikelfilters 7 im zweiten SCR-System 11 einstellen.

Nachfolgend wird unter Bezug auf Fig. 2b auf die dem ersten SCR-System 10 Reduktionsmittelmenge eingegangen. In Fig. 2b stellt analog zu Fig. 2a die gestrichelt gezeichnete Kurve den Verlauf einer NO_x-Konversion des ersten SCR-Systems 10 in Abhängigkeit von seiner Temperatur dar, die idealerweise bzw. maximal erzielt werden kann. Demgegenüber stellt die durchgezogene Kurve den Verlauf eines Zielwerts für die NO_x-Konversion des ersten SCR-Systems 10 in Abhängigkeit von der Temperatur des zweiten SCR-Systems 11 dar.

Wie ersichtlich, entspricht unterhalb von Temperaturen von etwa 225 °C und oberhalb von etwa 500 °C des zweiten SCR-Systems 11 der Zielwert der NO_x-Konversion des ersten SCR-System 10 zumindest annähernd seiner maximal möglichen NO_x-Konversion bei der jeweiligen Temperatur. Hierzu wird die dem ersten SCR-System zugeführte Reduktionsmittelmenge entsprechend eingestellt. Dabei wird eine an eine NH₃-Speichermenge von im ersten SCR-System 10 eingespeicherten NH₃ geknüpfte Reduktionsmitteldosierung über das erste Reduktionsmittel-Dosierventil 12 vorgenommen. Es erfolgt eine Reduktionsmittel-Dosierung derart, dass eine vorgebbare Soll-Menge von in der Beschichtungen von Bauteilen des ersten SCR-Systems 10 eingespeichertem NH₃ eingestellt wird. Um zu erreichen, dass NH₃ in der Beschichtung eingespeichert wird, kann generell eine Dosierung vorgenommen werden, bei welcher der Molenbruch α von NH₃- und NO_x-Konzentration eintrittsseitig des Katalysators zeitweise den Wert von 1,0 überschreitet. Der Zusammenhang zwischen NH₃-Speichermenge und hierfür erforderlicher Reduktionsmitteldosiermenge kann dabei beispielsweise in einem Rechenmodell ermittelt oder einem vorab ermittelten Kennfeld entnommen werden.

In einem Temperaturbereich zwischen etwa 225 °C und 500 °C wird dem ersten SCR-System 10 hingegen eine demgegenüber verminderte Reduktionsmittelmenge zugeführt. Hier erfolgt eine Einstellung der Reduktionsmittel-Dosiermenge, welche sich an der NO_x-Konzentration im dem ersten SCR-System 10 zugeführten Abgas orientiert. Insbesondere wird der Molenbruch α entsprechend des Zielwertes für die NO_x-Konversion vorgegeben. Speziell wird in einem Temperaturbereich von etwa 250 °C bis 450 °C des ersten SCR-System 10 ein Molenbruch α von etwa 0,2 oder weniger vorgegeben. Dabei ist es vorzugsweise vorgesehen, dass der Molenbruch α in Abhängigkeit von der in einem vorgebbaren Fahrzyklus vom Dieselmotor abgegebenen fahrstreckenbezogenen NO_x-Rohemission vorgegeben wird. Bei dem Fahrzyklus kann es sich beispielsweise um den standardisierten WLTP-Zyklus handeln.

Die Temperaturabhängigkeit der für das erste SCR-System 10 vorgesehenen Reduktionsmittel-Dosiermenge ist nochmals im Diagramm von Fig. 2c beispielhaft veranschaulicht. Dabei ist ein Bruchteil der für eine idealerweise oder maximal möglichen NO_x-Konversion vorgesehenen notwendigen Dosiermenge in Abhängigkeit von der Temperatur des ersten SCR-Systems 10 aufgetragen. Wie ersichtlich, wird ausgehend von Temperaturen unterhalb von 200 °C die für eine maximale NO_x-Konversion erforderliche Reduktionsmittel-Dosiermenge mit weiter steigenden Temperaturen vermindert. Bei etwa 275 °C hat sie vorliegend den Bruchteil von 0,1 entsprechend 10 % der für maximalen NO_x-Umsatz erforderlichen Reduktionsmittel-Dosiermenge erreicht. Oberhalb von etwa 425 °C wird die Dosiermenge mit zunehmender Temperatur stetig oder schrittweise erhöht, bis bei etwa 550 °C wieder eine Reduktionsmittel-Dosiermenge erreicht wird, welche der für eine maximale NO_x-Reduktion entspricht.

Das oben geschilderte Zusammenspiel von temperaturabhängig eingestellter Reduktionsmitteldosierung für das erste SCR-System 10 und für das zweite SCR-System 11 hat zur Folge, dass ein Großteil der NO_x-Rohemission des Dieselmotors 1 durch das zweite SCR-System 11 aus dem Abgas entfernt wird, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems 11 in einem Bereich zwischen etwa 250 °C und etwa 450 °C liegt. Es ist vorzugsweise vorgesehen, die jeweiligen Dosiermengen derart einzustellen, dass im Temperaturbereich von etwa 250 °C und etwa 450 °C mehr als 80

%, besonders bevorzugt mehr als 90 % der NO_x-Rohemission des Dieselmotors 1 durch das zweite SCR-System 11 aus dem Abgas durch Reduktion entfernt wird.

Insgesamt ist somit nicht nur eine sehr niedrige NO_x-Endrohremission ermöglicht, sondern auch, aufgrund der niedrigen N₂O-Bildung des vanadiumbasierten zweiten SCR-Katalysators 8, eine sehr niedrige Endrohremission des Schadstoffs N₂O.

Patentansprüche

1. Abgasreinigungsanlage (2) für ein von einem Dieselmotor (1) angetriebenes Kraftfahrzeug, umfassend ein erstes SCR-System (10) und ein strömungstechnisch nachgeschaltetes zweites SCR-System (11), denen jeweils ein vorgeschaltetes Dosierventil (12, 13) zur Zufuhr eines NO_x-Reduktionsmittels zum Abgas zugeordnet ist, wobei das erste SCR-System (10) einen mit einer SCR-katalytisch wirksamen Beschichtung versehenen Partikelfilter (7) aufweist und das zweite SCR-System (11) einen SCR-Katalysator (8) und einen Oxidationskatalysator (9) umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass als SCR-katalytische Aktivkomponente für das erste SCR-System (10) Kupfer und für das zweite SCR-System (11) Vanadium vorgesehen ist.
2. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das erste SCR-System (10) einen dem Partikelfilter (7) unmittelbar vorgeschalteten oder unmittelbar nachgeschalteten SCR-Katalysator (6) aufweist.
3. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der SCR-Katalysator (8) des zweiten SCR-Systems (11) ein größeres Volumen als der SCR-Katalysator (6) des ersten SCR-Systems (10) aufweist.
4. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Volumen des SCR-Katalysators (8) des zweiten SCR-Systems (11) um das drei- bis zehn-fache größer als das Volumen des SCR-Katalysators (6) des ersten SCR-Systems (10) ist.
5. Abgasreinigungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass

der SCR-Katalysator (8) des zweiten SCR-Systems (11) ein größeres Volumen als der Hubraum des Dieselmotors aufweist.

6. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Volumen des SCR-Katalysators (8) des zweiten SCR-Systems (11) um das drei- bis fünffache größer als der Hubraum des Verbrennungsmotors ist.
7. Abgasreinigungsanlage nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Volumen des Partikelfilters (7) um das ein- bis vierfache größer als das Volumen des SCR-Katalysators (6) des ersten SCR-Systems ist.
8. Verfahren zum Betreiben einer Abgasreinigungsanlage eines dieselmotorisch angetriebenen Kraftfahrzeugs, welche ein erstes, Kupfer als SCR-katalytische Aktivkomponente aufweisendes SCR-System (10) und ein nachgeschaltetes zweites, Vanadium als SCR-katalytische Aktivkomponente aufweisendes SCR-System (11) umfasst, wobei ein Großteil einer NO_x-Rohemission des Dieselmotors (1) durch das zweite SCR-System (11) aus dem Abgas entfernt wird, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) in einem vorgebbaren Temperaturbereich liegt.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens 80 % der NO_x-Rohemission des Dieselmotors (1) vom zweiten SCR-System (11) aus dem Abgas entfernt werden, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) in dem vorgebbaren Temperaturbereich liegt.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass für den vorgebbaren Temperaturbereich eine Temperaturuntergrenze von etwa 250 °C und eine Temperaturobergrenze von etwa 450 °C gewählt werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10,

- dadurch gekennzeichnet, dass
- dem ersten SCR-System (10) eine Reduktionsmittelmenge zugeführt wird, die weniger als etwa 25 % der Reduktionsmittelmenge beträgt, welche bei der jeweiligen Temperatur des ersten SCR-Systems (10) für eine maximale NO_x-Reduktion erforderlich ist, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) in dem vorgegebenen Temperaturbereich liegt.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass
- dem ersten SCR-System (10) zur NO_x-Reduktion eine einstellbare Reduktionsmittelmenge zugeführt wird, wobei zur Einstellung der Reduktionsmittelmenge eine NO_x-Konzentration im dem ersten SCR-System (10) zugeführten Abgas herangezogen wird, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) in dem vorgegebenen Temperaturbereich liegt.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass
- ein Molenbruch α aus als NH₃ berechnetem, dem ersten SCR-System (10) zugeführtem Reduktionsmittel und NO_x-Konzentration im dem ersten SCR-System (10) zugeführten Abgas vorgegeben wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Molenbruch α in Abhängigkeit von der in einem vorgebbaren Fahrzyklus vom Dieselmotor (1) abgegebenen fahrstreckenbezogenen NO_x-Rohemission vorgegeben wird.
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass
- ein Molenbruch α von 0,2 oder weniger gewählt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass

dem zweiten SCR-System (11) zur NO_x-Reduktion eine einstellbare Reduktionsmittelmenge zugeführt wird, wobei zur Einstellung der Reduktionsmittelmenge eine im zweiten SCR-System (11) gespeicherte NH₃-Menge herangezogen wird, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) in dem vorgegebenen Temperaturbereich liegt.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass dem ersten SCR-System (10) eine Reduktionsmittelmenge zugeführt wird, die wenigstens annähernd der entspricht, welche für eine maximale NO_x-Reduktion bei der jeweiligen Temperatur des ersten SCR-Systems (10) erforderlich ist, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) weniger als etwa 225 °C oder mehr als etwa 500 °C beträgt.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass dem ersten SCR-System (10) zur NO_x-Reduktion eine einstellbare Reduktionsmittelmenge zugeführt wird, wobei zur Einstellung der Reduktionsmittelmenge eine im ersten SCR-System (10) gespeicherte NH₃-Menge herangezogen wird, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) weniger als etwa 225 °C oder mehr als etwa 500 °C beträgt.

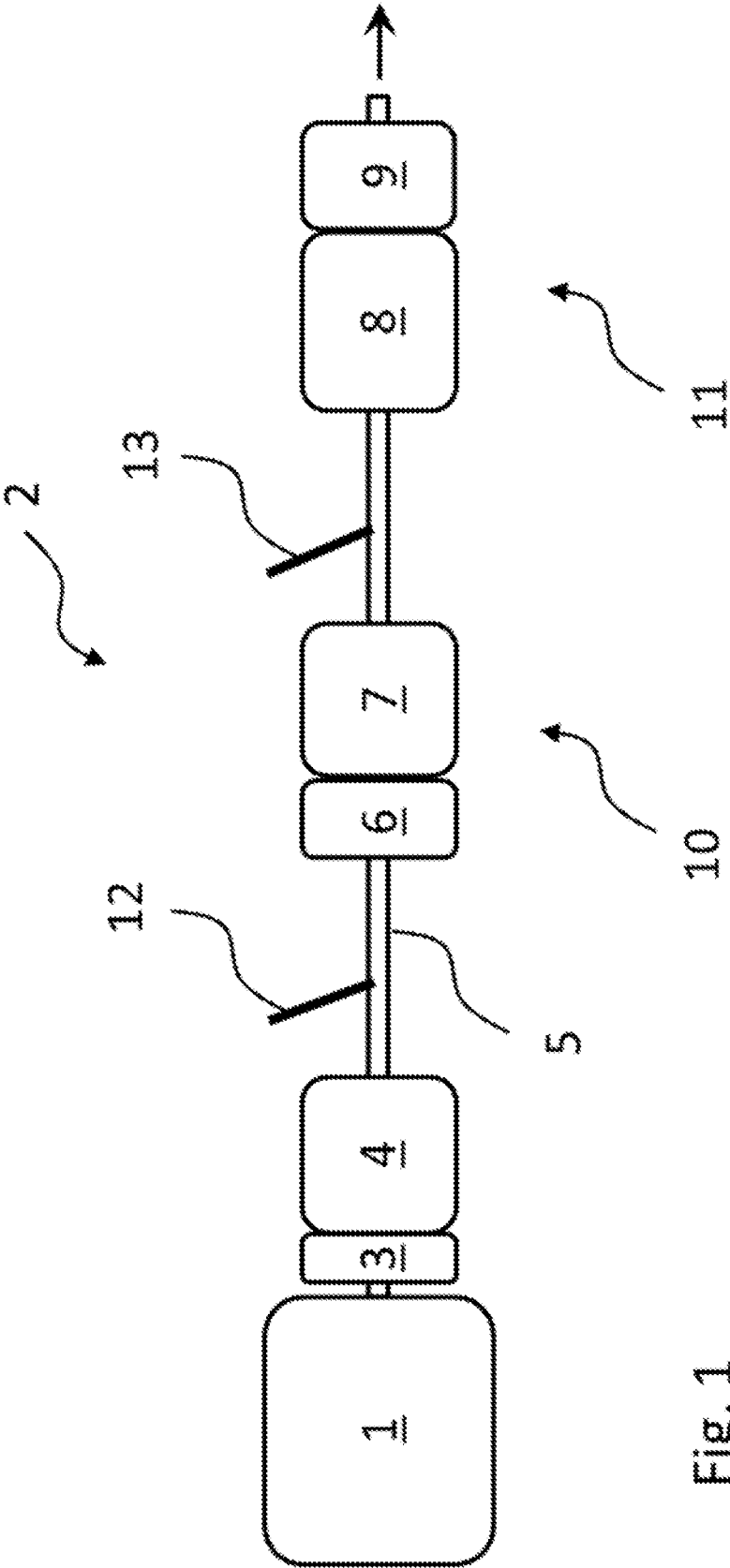


Fig. 1

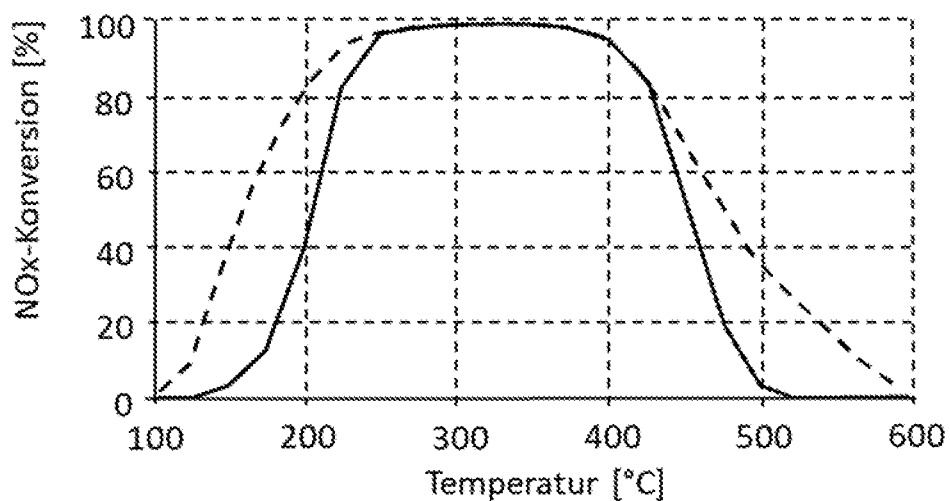


Fig. 2a

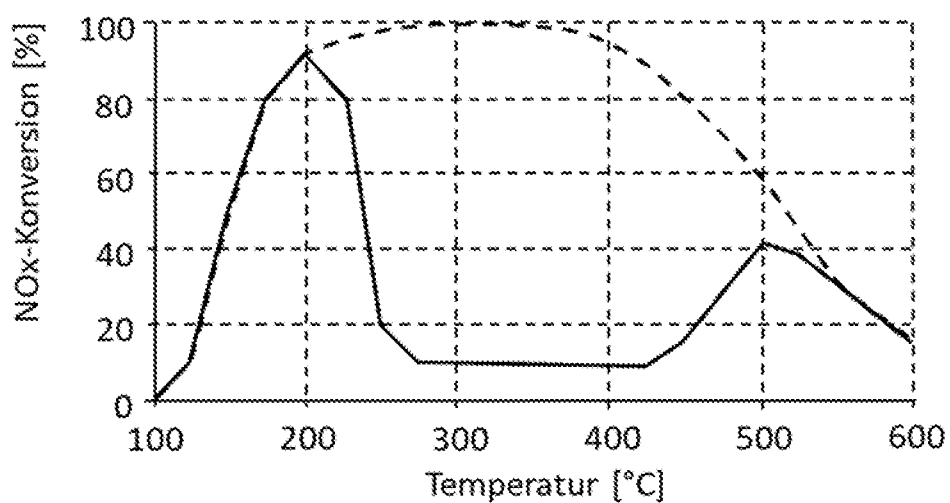


Fig. 2b

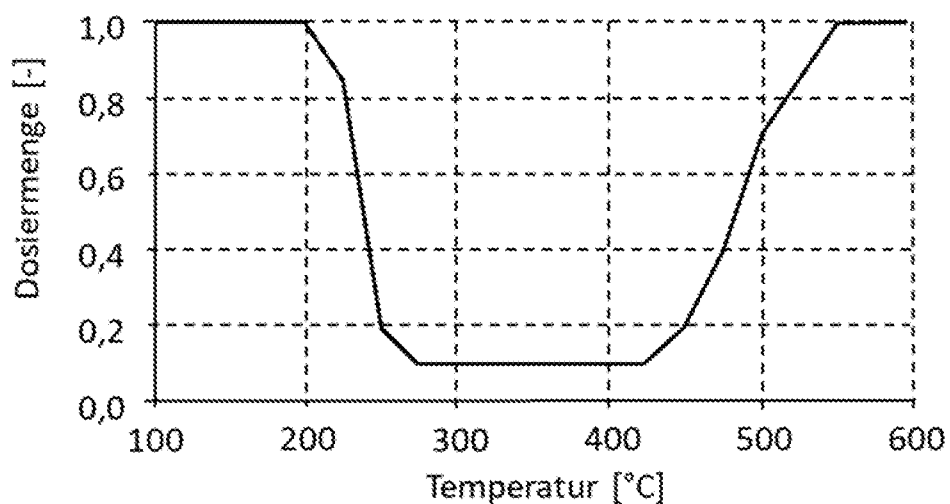


Fig. 2c

Patentansprüche

1. Abgasreinigungsanlage (2) für ein von einem Dieselmotor (1) angetriebenes Kraftfahrzeug, umfassend ein erstes SCR-System (10) und ein strömungstechnisch nachgeschaltetes zweites SCR-System (11), denen jeweils ein vorgeschaltetes Dosierventil (12, 13) zur Zufuhr eines NO_x-Reduktionsmittels zum Abgas zugeordnet ist, wobei das erste SCR-System (10) einen mit einer SCR-katalytisch wirksamen Beschichtung versehenen Partikelfilter (7) sowie einem dem Partikelfilter (7) unmittelbar vorgeschalteten oder unmittelbar nachgeschalteten SCR-Katalysator (6) aufweist und das zweite SCR-System (11) einen SCR-Katalysator (8) und einen Oxidationskatalysator (9) umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass als SCR-katalytische Aktivkomponente für den Partikelfilter (7) und den SCR-Katalysator (6) des ersten SCR-Systems (10) Kupfer und für das zweite SCR-System (11) Vanadium vorgesehen ist und das Volumen des SCR-Katalysators (8) des zweiten SCR-Systems (11) um das drei- bis zehn-fache größer als das Volumen des SCR-Katalysators (6) des ersten SCR-Systems (10) ist.
2. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der SCR-Katalysator (8) des zweiten SCR-Systems (11) ein größeres Volumen als der Hubraum des Dieselmotors aufweist.
3. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Volumen des SCR-Katalysators (8) des zweiten SCR-Systems (11) um das drei- bis fünffache größer als der Hubraum des Verbrennungsmotors ist.
4. Abgasreinigungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Volumen des Partikelfilters (7) um das ein- bis vierfache größer als das Volumen des SCR-Katalysators (6) des ersten SCR-Systems ist.

5. Verfahren zum Betreiben einer Abgasreinigungsanlage eines dieselmotorisch angetriebenen Kraftfahrzeugs, welche ein erstes, Kupfer als SCR-katalytische Aktivkomponente aufweisendes SCR-System (10) und ein nachgeschaltetes zweites, Vanadium als SCR-katalytische Aktivkomponente aufweisendes SCR-System (11) umfasst, wobei ein Großteil einer NO_x-Rohemission des Dieselmotors (1) durch das zweite SCR-System (11) aus dem Abgas entfernt wird, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) in einem vorgebbaren Temperaturbereich mit einer Temperaturuntergrenze von etwa 250 °C und eine Temperaturobergrenze von etwa 450 °C liegt, wobei dem ersten SCR-System (10) eine Reduktionsmittelmenge zugeführt wird, die weniger als etwa 25 % der Reduktionsmittelmenge beträgt, welche bei der jeweiligen Temperatur des ersten SCR-Systems (10) für eine maximale NO_x-Reduktion erforderlich ist, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) in dem vorgegebenen Temperaturbereich liegt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens 80 % der NO_x-Rohemission des Dieselmotors (1) vom zweiten SCR-System (11) aus dem Abgas entfernt werden, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) in dem vorgebbaren Temperaturbereich liegt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass dem ersten SCR-System (10) zur NO_x-Reduktion eine einstellbare Reduktionsmittelmenge zugeführt wird, wobei zur Einstellung der Reduktionsmittelmenge eine NO_x-Konzentration im dem ersten SCR-System (10) zugeführten Abgas herangezogen wird, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) in dem vorgegebenen Temperaturbereich liegt.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Molenbruch α aus als NH₃ berechnetem, dem ersten SCR-System (10) zugeführtem Reduktionsmittel und NO_x-Konzentration im dem ersten SCR-System (10) zugeführten Abgas vorgegeben wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Molenbruch α in Abhängigkeit von der in einem vorgebbaren Fahrzyklus vom Dieselmotor (1) abgegebenen fahrstreckenbezogenen NO_x-Rohemission vorgegeben wird.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
ein Molenbruch α von 0,2 oder weniger gewählt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
dem zweiten SCR-System (11) zur NO_x-Reduktion eine einstellbare Reduktionsmittelmenge zugeführt wird, wobei zur Einstellung der Reduktionsmittelmenge eine im zweiten SCR-System (11) gespeicherte NH₃-Menge herangezogen wird, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) in dem vorgegebenen Temperaturbereich liegt.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
dem ersten SCR-System (10) eine Reduktionsmittelmenge zugeführt wird, die wenigstens annähernd der entspricht, welche für eine maximale NO_x-Reduktion bei der jeweiligen Temperatur des ersten SCR-Systems (10) erforderlich ist, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) weniger als etwa 225 °C oder mehr als etwa 500 °C beträgt.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
dem ersten SCR-System (10) zur NO_x-Reduktion eine einstellbare Reduktionsmittelmenge zugeführt wird, wobei zur Einstellung der Reduktionsmittelmenge eine im ersten SCR-System (10) gespeicherte NH₃-Menge herangezogen wird, wenn die Temperatur des zweiten SCR-Systems (11) weniger als etwa 225 °C oder mehr als etwa 500 °C beträgt.