

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50988/2021 (51) Int. Cl.: **F02B 43/10** (2006.01)
 (22) Anmeldetag: 10.12.2021 **F02D 19/06** (2006.01)
 (43) Veröffentlicht am: 15.05.2023 **F01N 3/20** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 US 2011264355 A1
 US 2021079826 A1
 CN 110219718 A
 CN 111255560 A

(71) Patentanmelder:
 AVL List GmbH
 8020 Graz (AT)
 (72) Erfinder:
 Noll Hannes Dr. techn.
 8111 Gratwein-Straßengel (AT)
 Michelitsch Philipp Dipl.-Ing.
 8580 Köflach (AT)
 (74) Vertreter:
 Gamper Bettina Dr.
 8020 Graz (AT)

(54) **Verbrennungsmotorsystem mit einem Ammoniak-Verbrennungsmotor und daran angeschlossener Abgasreinigungsanlage und Betriebsverfahren hierfür**

(57) Die Erfindung betrifft ein umfassend einen zumindest überwiegend mit Ammoniak als Kraftstoff betriebenen Verbrennungsmotor (1) mit daran angeschlossener Abgasreinigungsanlage (2) zur Reinigung eines vom Verbrennungsmotor (1) abgegebenen Abgases, wobei die Abgasreinigungsanlage (2) einen ersten SCR-Katalysator (14) zur Reduktion von im Abgas enthaltenen Stickoxiden aufweist. Erfindungsgemäß weist die Abgasreinigungsanlage (2) zusätzlich einen zweiten SCR-Katalysator (11) zur Reduktion von im Abgas enthaltenen Stickoxiden auf, der dem ersten SCR-Katalysator (14) strömungstechnisch vorgeschaltet ist.

Für das erfindungsgemäße Betriebsverfahren für das Verbrennungsmotorsystem ist vorgesehen, dass Abgas, welches von einem zumindest überwiegend mit Ammoniak als Kraftstoff betriebenen Verbrennungsmotor (1) gereinigt wird, wobei im Abgas enthaltene Stickoxide an einem ersten SCR-Katalysator (14) mittels dem Abgas durch einen Injektor (15) zugegebenem Ammoniak reduziert werden, wobei im Abgas enthaltene Stickoxide zusätzlich an einem dem ersten SCR-Katalysator (14) strömungstechnisch vorgeschalteten zweiten SCR-Katalysator (11) mittels vom Verbrennungsmotor (1) abgegebenem Ammoniak reduziert werden.

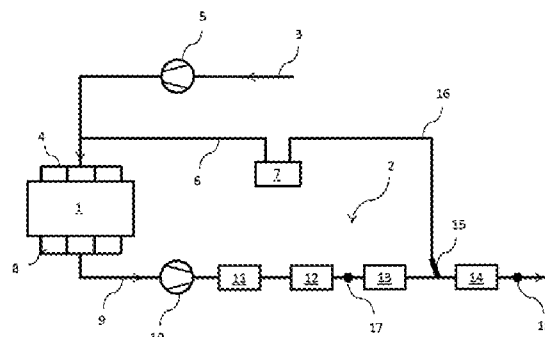


Fig. 1

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein umfassend einen zumindest überwiegend mit Ammoniak als Kraftstoff betriebenen Verbrennungsmotor (1) mit daran angeschlossener Abgasreinigungsanlage (2) zur Reinigung eines vom Verbrennungsmotor (1) abgegebenen Abgases, wobei die Abgasreinigungsanlage (2) einen ersten SCR-Katalysator (14) zur Reduktion von im Abgas enthaltenen Stickoxiden aufweist. Erfindungsgemäß weist die Abgasreinigungsanlage (2) zusätzlich einen zweiten SCR-Katalysator (11) zur Reduktion von im Abgas enthaltenen Stickoxiden auf, der dem ersten SCR-Katalysator (14) strömungstechnisch vorgeschaltet ist.

Für das erfindungsgemäße Betriebsverfahren für das Verbrennungsmotorsystem ist vorgesehen, dass Abgas, welches von einem zumindest überwiegend mit Ammoniak als Kraftstoff betriebenen Verbrennungsmotor (1) gereinigt wird, wobei im Abgas enthaltene Stickoxide an einem ersten SCR-Katalysator (14) mittels dem Abgas durch einen Injektor (15) zugegebenem Ammoniak reduziert werden, wobei im Abgas enthaltene Stickoxide zusätzlich an einem dem ersten SCR-Katalysator (14) strömungstechnisch vorgeschalteten zweiten SCR-Katalysator (11) mittels vom Verbrennungsmotor (1) abgegebenem Ammoniak reduziert werden.

Fig. 1

Verbrennungsmotorsystem mit einem Ammoniak-Verbrennungsmotor und daran angeschlossener Abgasreinigungsanlage und Betriebsverfahren hierfür

Ammoniak (NH_3) als Kraftstoff für Verbrennungsmotoren besitzt den Vorteil, keinerlei CO_2 -Emissionen zu verursachen. Jedoch entstehen bei der Verbrennung von NH_3 Stickoxide (NO_x). Außerdem können im Abgas von mit NH_3 betriebenen Verbrennungsmotoren Reste von unverbranntem NH_3 enthalten sein. Sowohl NO_x als auch NH_3 sind Schadstoffe, welche es aus dem Abgas zumindest weitgehend zu entfernen gilt.

Aus der US 2010/0019506 A1 ist es bekannt, zur Abgasreinigung bei einem mit NH_3 betriebenen Verbrennungsmotor einen SCR-Katalysator einzusetzen, der im Abgas enthaltenes NO_x mit infolge unvollständiger NH_3 -Verbrennung im Abgas enthaltenem NH_3 (NH_3 -Schlupf) reduzieren kann. Hierfür wird der Verbrennungsmotor so betrieben, dass ein ausreichend hoher NH_3 -Schlupf entsteht. Jedoch kann es einerseits schwierig sein, den NH_3 -Schlupf passend einzustellen um sowohl NO_x - als auch NH_3 -Emissionen zu vermeiden. Andererseits ist die absichtliche Erzeugung eines NH_3 -Schlupfes mit einem unvorteilhaften Kraftstoff-Mehrverbrauch verbunden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verbrennungsmotorsystem mit einem Ammoniak-Verbrennungsmotor und daran angeschlossener Abgasreinigungsanlage und ein Betriebsverfahren hierfür bereitzustellen, durch welche eine verbesserte Abgasreinigung ermöglicht ist. Diese Aufgabe wird durch ein Verbrennungsmotorsystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein Betriebsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 6 gelöst. Vorteilhafte Ausbildungen sind in den jeweiligen Unteransprüchen angegeben.

Das erfindungsgemäße Verbrennungsmotorsystem umfasst einen zumindest überwiegend mit Ammoniak als Kraftstoff betriebenen Verbrennungsmotor sowie eine an den Verbrennungsmotor angeschlossene Abgasreinigungsanlage zur Reinigung des vom Verbrennungsmotor abgegebenen Abgases auf. Dabei weist die Abgasreinigungsanlage einen ersten SCR-Katalysator zur Reduktion von im Abgas enthaltenem NO_x auf, sowie erfindungsgemäß einen weiteren, zweiten SCR-Katalysator zur Reduktion von im Abgas enthaltenem NO_x auf, der dem ersten SCR-Katalysator

strömungstechnisch vorgeschaltet ist. Dadurch, dass zwei voneinander getrennt angeordnete SCR-Katalysatoren vorgesehen sind, kann eine Entfernung von NO_x aus dem Abgas verbessert erfolgen. Infolge eines natürlicherweise vorhandenen Temperaturgefälles entlang des Abgasströmungswegs ist der zweite, vorzugsweise motornah verbaute SCR-Katalysator rasch betriebsbereit. Sinkt die katalytische Wirksamkeit infolge zu starker Erhitzung ab, so kann der, vorzugsweise im Unterbodenbereich des entsprechenden Kraftfahrzeugs angeordnete, erste SCR-Katalysator infolge seiner inzwischen einsetzenden Erwärmung die NO_x-Entfernung übernehmen. Das Verbrennungsmotorsystem kann in einem PKW, einem Nfz, einem Traktor, einem Schiff oder in einer Lokomotive verbaut sein.

Der zum Betrieb des Verbrennungsmotors überwiegend eingesetzte Kraftstoff NH₃ kann der Verbrennungsluft in einem Saugrohr zugemischt werden oder auch direkt in einen Brennraum in flüssiger Form oder gasförmig eingespritzt werden. Der Kraftstoff NH₃ wird dabei einem Kraftstoffvorratsbehälter entnommen, in dem er zumindest überwiegend in flüssiger Form vorliegt. Zur Verbesserung der NH₃-Entflammung kann die zusätzliche Zugabe bzw. Einspritzung eines Zündpromotors wie Diesel, Äthanol, Diäthyläther oder eines anderen geeigneten Stoffes zum Verbrennungsmotor vorgesehen sein. Die Menge des Zündpromotors ist dabei im Vergleich zur Menge des eigentlichen Kraftstoffs NH₃ jedoch vergleichsweise gering. Vorzugsweise beträgt sie weniger als 20 % oder weniger als 10 % der NH₃-Menge.

Was die SCR-Katalysatoren betrifft, so sind darunter Katalysatoren zu verstehen, die in der Lage sind, eine Reduktion von NO_x zu Stickstoff (N₂) mittels NH₃ als Reduktionsmittel auch bei Vorliegen eines Sauerstoffüberschusses zu katalysieren.

In Ausgestaltung der Erfindung weist die Abgasreinigungsanlage genau einen Injektor zur Zugabe von NH₃ zum Abgas auf, wobei der Injektor zur Zugabe von NH₃ zum Abgas eingangsseitig des ersten SCR-Katalysators ausgebildet ist. Besagter NH₃-Injektor ist somit der einzige NH₃-Injektor der Abgasreinigungsanlage. Vorzugsweise ist er unmittelbar vor der Abgaseintrittsseite des ersten SCR-Katalysators in der Abgasreinigungsanlage angeordnet. Der Injektor kann das NO_x-Reduktionsmittel NH₃ in flüssiger Form oder gasförmig ins Abgas einspritzen. Vorzugsweise wird es dem Kraftstoffvorratsbehälter entnommen. Der zweite, weiter stromauf angeordnete

SCR-Katalysator erhält das NO_x-Reduktionsmittel NH₃ mit dem zugeführten Abgas, in dem dieses in Form eines infolge unvollständiger Verbrennung vorhandenen NH₃-Schlupfes aus dem Verbrennungsmotor enthalten ist. Der zweite SCR-Katalysator kann somit als passiver SCR-Katalysator bezeichnet werden, welcher eine NO_x-Reduktion ohne eine Reduktionsmittelzugabe von außen bewirkt.

Typischerweise ist die in Form des NH₃-Schlupfes im Abgas vorhandene NH₃-Menge geringer als die vom Motor emittierte NO_x-Menge. Hinter dem zweiten SCR-Katalysator sind daher noch mehr oder weniger hohe NO_x-Anteile im Abgas enthalten. Diese werden dann am stromabwärtigen ersten SCR-Katalysator mittels von außen zugeführtem NH₃ reduziert. Auf diese Weise können sehr niedrige NO_x-Endrohr-emissionen erzielt werden.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung weist die Abgasreinigungsanlage einen Partikelfilter zur Ausfilterung von im Abgas enthaltenen Partikeln auf, wobei der Partikelfilter strömungstechnisch vor dem ersten SCR-Katalysator und hinter dem zweiten SCR-Katalysator angeordnet ist. Vorzugsweise ist der Partikelfilter stromaufwärts von der durch den NH₃-Injektor gebildeten NH₃-Zugabestelle im Abgasstrang angeordnet. Obschon durch die NH₃-Verbrennung im Motor keine Rußpartikel erzeugt werden, können etwa durch Motoröladditive oder durch Verbrennung eines Zündpromotors verursachte Partikelemissionen entstehen. Die entsprechenden Partikel können durch den Partikelfilter aus dem Abgas entfernt werden. Da die Partikelemissionen typischerweise relativ gering sind, kann der Partikelfilter vergleichsweise klein ausfallen. Das Volumen des Partikelfilters kann deshalb weniger als 70%, weniger als 50 % oder sogar weniger als 30 % des Volumens des ersten bzw. des zweiten SCR-Katalysators betragen.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung weist die Abgasreinigungsanlage einen Oxidationskatalysator auf, der strömungstechnisch zwischen dem zweiten SCR-Katalysator und dem Partikelfilter angeordnet ist. Durch den Oxidationskatalysator kann der NO₂-Anteil des im Abgas enthaltenen NO_x angehoben werden, wodurch die NO_x-Reduktion im ersten SCR-Katalysator verbessert wird.

Alternativ zur Bereitstellung eines separaten Oxidationskatalysators zwischen zweitem SCR-Katalysator und Partikelfilter kann auch eine Ausführung des Partikelfilters mit einer oxidationskatalytischen Beschichtung vorgesehen sein.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist der Verbrennungsmotor als kompressionsgezündeter Verbrennungsmotor ausgebildet. Es entfallen für den Verbrennungsmotor daher Zündmittel wie Zündkerzen zur Zündung des Kraftstoffs in seinen Brennräumen.

Für das erfindungsgemäße Betriebsverfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotorsystems, bei welchem von einem zumindest überwiegend mit Ammoniak als Kraftstoff betriebenen Verbrennungsmotor abgegebenes Abgas gereinigt wird, ist vorgesehen, dass im Abgas enthaltenes NO_x an einem ersten SCR-Katalysator mittels dem Abgas durch einen Injektor zugegebenem NH₃ reduziert wird, wobei im Abgas enthaltenes NO_x zusätzlich an einem dem ersten SCR-Katalysator strömungstechnisch vorgeschalteten zweiten SCR-Katalysator mittels vom Verbrennungsmotor abgegebenem NH₃ reduziert wird. Es erfolgt somit eine zweistufige NO_x-Reduktion. Dabei fungiert der zweite SCR-Katalysator als erste NO_x-Reinigungsstufe, in der im Abgas enthaltenes NO_x mittels des in Form eines NH₃-Schlupfes vorliegenden, vom Verbrennungsmotor bereitgestellten NH₃-Anteils im Abgas reduziert wird. Die zweite NO_x-Reinigungsstufe wird durch den stromabwärtigen ersten SCR-Katalysator gebildet. In diesem erfolgt eine Reduktion von im Abgas verbliebenem NO_x durch von außen mittels eines Injektors dem Abgas zugesetztem NH₃.

In Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden im Abgas enthaltene Partikel mittels eines strömungstechnisch zwischen dem ersten SCR-Katalysator und dem zweiten SCR-Katalysator angeordneten Partikelfilter aus dem Abgas ausgefiltert. Es erfolgt somit eine umfassende Reinigung des Abgases, welche die Einhaltung strengster Grenzwerte für NO_x- und Partikelemissionen ermöglicht.

In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass der Verbrennungsmotor zumindest überwiegend mit Luftüberschuss betrieben wird. Dies ermöglicht eine Kraftstoffverbrennung mit hohem mechanischen Wirkungsgrad.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand einer Zeichnung und zugehörigen Beispielen näher erläutert. Die einzige Figur zeigt dabei eine vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verbrennungsmotorsystems.

Das in der Figur lediglich beispielhaft und schematisch dargestellte Verbrennungsmotorsystem umfasst einen Verbrennungsmotor 1 und eine daran angeschlossene Abgasreinigungsanlage 2. Dem Verbrennungsmotor 1 wird seine zur Kraftstoffverbrennung erforderliche Verbrennungsluft über eine Luftzufuhrleitung 3 zugeführt, die in ein Saugrohr 4 des Verbrennungsmotors 1 stromab eines in der Luftzufuhrleitung 3 angeordneten Turboladerverdichters 5 einmündet. Der Verbrennungsmotor 1 ist als ein überwiegend mit Luftüberschuss betriebener Verbrennungsmotor nach dem Dieselpinzip, also als Kompressionszündler nach Hubkolbenbauart ausgebildet. Als Kraftstoff wird NH_3 eingesetzt, welcher vorliegend einem Tank 7 entnommen wird und über eine erste NH_3 -Zufuhrleitung 6 der Verbrennungsluft eingangsseitig des Saugrohrs 4 zugeführt wird. Eine hierfür eingesetzte Förderpumpe und ein Regelventil zur Mengenregelung der zugeführten NH_3 -Menge sind dabei nicht gesondert dargestellt. NH_3 kann natürlich auch direkt dem Saugrohr 4 zugeführt werden. Ebenfalls möglich ist eine NH_3 -Direkteinspritzung in die einzelnen, hier ebenfalls nicht gesondert dargestellten Brennräume des Verbrennungsmotors 1. Zur Verbesserung einer Zündung des Kraftstoffs NH_3 kann eine Pilot- oder Voreinspritzung eines als Zündpromotors wirkenden Stoffes wie Dieselkraftstoff, Äthanol, Dimethyläther, Aceton oder ein anderer zündwilliger Stoff vorgesehen sein. Auf die Darstellung entsprechender Zufuhrmittel wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Die Menge des eingesetzten Zündpromotors ist dabei relativ gering gegenüber der Menge des eigentlichen Kraftstoffs NH_3 und beträgt vorzugsweise weniger als 10 %, weniger als 5 % oder weniger als 2 %.

Bei der Kraftstoffverbrennung entstehendes Abgas wird über einen Abgaskrümmern 8 und eine daran angeschlossene Abgasleitung 9 aus dem Verbrennungsmotor 1 abgeführt und der Abgasreinigungsanlage 2 zugeführt. Dabei wird eine in der Abgasleitung 9 angeordnete Turboladerturbine angetrieben, welche ihrerseits über eine nicht dargestellte Welle den Turboladerverdichter 5 antreibt.

Die Abgasreinigungsanlage 2 weist vorliegend in Richtung der Abgasströmung gesehen hintereinander angeordnet in der Abgasleitung 9 folgende reinigungsaktiven Komponenten auf. Einen hier als zweiten SCR-Katalysator 11 bezeichneten Stickoxidreduktionskatalysator, einen Oxidationskatalysator 12, einen Partikelfilter 13 sowie einen, hier als ersten SCR-Katalysator 14 bezeichneten weiteren Stickoxidreduktionskatalysator.

Die Katalysatoren 11, 12 und 14 sind dabei bevorzugt als insbesondere keramische Wabenkörper mit durchgehenden, parallelen Kanälen ausgebildet. Dabei sind die mit dem Abgas in Kontakt kommenden Kanalwände mit der jeweiligen spezifischen katalytisch wirksamen Substanz beschichtet. Bei den SCR-Katalysatoren 11, 14 kann es sich dabei beispielsweise um einen mit Eisen und/oder Kupfer ausgetauschten Zeolith als katalytisch wirksame Substanz handeln. Die katalytisch wirksamen Substanzen ermöglichen eine selektive Reduktion von im Abgas enthaltenem NO_x mit dem hier als Reduktionsmittel eingesetzten NH_3 auch unter oxidierenden Bedingungen.

Als katalytisch wirksame Substanz des Oxidationskatalysators kann es sich um ein fein dispergiertes Metall der Platingruppe wie Platin, Palladium und/oder Rhodium handeln. Der Partikelfilter 13 ist vorzugsweise als wanddurchströmter Wabenkörper mit eingangs- und ausgangsseitig abwechselnd verschlossenen, parallel verlaufenden Kanälen ausgebildet.

Was den zweiten SCR-Katalysator 11 betrifft, so ist dieser erfindungsgemäß als sogenannter passiver SCR-Katalysator ausgebildet. Darunter ist zu verstehen, dass dem zweiten SCR-Katalysator 11 das zur NO_x -Reduktion erforderliche Reduktionsmittel NH_3 nicht durch eine separate Zuführvorrichtung von außen zugeführt wird. Vielmehr dient als Reduktionsmittel zur selektiven NO_x -Reduktion vom Verbrennungsmotor 1 ausgestoßenes NH_3 . Dieser sogenannte NH_3 -Schlupf des Verbrennungsmotors 1 ist Folge einer unvollständigen Verbrennung des Kraftstoffs NH_3 im Verbrennungsmotor 1. Quelle des Reduktionsmittels NH_3 zur selektiven katalytischen NO_x -Reduktion im zweiten SCR-Katalysator ist somit ausschließlich der NH_3 -Schlupf des Verbrennungsmotors 1.

Je nach Verhältnis von NH_3 -Schlupf und NO_x -Gehalt im Abgas, bzw. auch abhängig vom Umsatzvermögen des zweiten SCR-Katalysators 11, können Restmengen von NO_x oder NH_3 in dem aus dem zweiten SCR-Katalysator 11 ausströmenden Abgas vorhanden sein. Diese werden mit der Abgasströmung in den nachgeschalteten Oxidationskatalysator 12 eingetragen. Sind Restmengen von NO_x im Abgas enthalten, so erfolgt dort eine zumindest teilweise Oxidation des NO_x -Bestandteils Stickstoffmonoxid (NO) zu Stickstoffdioxid (NO_2) mit dem im Abgas enthaltenen Sauerstoff des mager betriebenen Verbrennungsmotors 1. Angestrebt ist dabei ein NO - NO_2 -Verhältnis von etwa 1:1, was die katalytische NO_x -Reduktion im weiter stromab angeordneten ersten SCR-Katalysator 14 verbessert bzw. erleichtert. Ist eine Restmenge von NH_3 im Abgas enthalten, so wird dieses NH_3 zumindest teilweise zu NO bzw. NO_2 oxidiert. Jedenfalls ist davon auszugehen, dass das aus dem Oxidationskatalysator 12 ausströmende Abgas NO_x aufweist, welches im weiter stromab angeordneten ersten SCR-Katalysator 14 zumindest weitgehend reduziert wird.

Bevor durch die Abgasleitung 9 strömendes Abgas in den ersten SCR-Katalysator 14 gelangt, wird es von Partikeln zumindest weitgehend durch Ausfilterung im Partikelfilter 13 befreit. Der erste SCR-Katalysator 14 erhält das zur selektiven NO_x -Reduktion erforderliche Reduktionsmittel NH_3 durch Zugabe über einen vorgeschalteten Injektor 15. Dieser ist über eine zweite NH_3 -Zufuhrleitung 16 mit dem Tank 7 verbunden ist. Eine vorzugsweise vorgesehene Förderpumpe ist dabei nicht gesondert dargestellt. NH_3 kann in flüssiger Form oder gasförmig dem Tank 7 entnommen werden und durch den Injektor 15 eingangsseitig des ersten SCR-Katalysators 14 in das Abgas eingespritzt werden. Bei Zugabe von flüssigem NH_3 verdampft dieses im heißen Abgas, weshalb in jedem Fall dem SCR-Katalysator 14 NH_3 zumindest überwiegend in gasförmiger Form zugeführt wird. Dadurch ist eine gleichmäßige NH_3 -Verteilung im Abgas sichergestellt, weshalb auf einen Mischer verzichtet werden kann. Da im Gegensatz zum ersten SCR-Katalysator 14 der zweite SCR-Katalysator 11 seinen NO_x -Reduktionsmittelbedarf nicht durch Zugabe zum Abgas durch einen Injektor, sondern durch NH_3 -Schlupf aus dem Verbrennungsmotor 1 deckt, bedarf es neben dem Injektor 15 keiner weiteren NO_x -Reduktionsmittelzugabevorrichtung für die Abgasreinigungsanlage 2. Der Injektor 7 ist deshalb die einzige NO_x -Reduktionsmittelzugabevorrichtung der Abgasreinigungsanlage 2.

Eine bedarfsgerechte Steuerung der NH_3 -Zugabe ins Abgas durch den Injektor 15 zur angestrebten möglichst vollständigen Reduktion von im Abgas enthaltenem NO_x erfolgt mittels von NO_x -Sensoren 17, 18 bereitgestellten Signalen, welche von einem nicht dargestellten Steuergerät entsprechend ausgewertet werden. Dabei ist ein erster NO_x -Sensor 17 zur Erfassung des NO_x -Gehaltes im Abgas ausgangsseitig des Oxidationskatalysators 12 bzw. zwischen dem Oxidationskatalysator 12 und dem Partikelfilter 13 vorgesehen. Dieser ermöglicht die Ermittlung des NO_x -Gehalts des in den ersten SCR-Katalysator 14 einströmenden Abgases. Aus dem ermittelten NO_x -Gehalt des Abgases kann wiederum der NH_3 -Bedarf zur Reduktion von im Abgas enthaltenem NO_x im ersten SCR-Katalysator 14 ermittelt und der Injektor 15 entsprechend angesteuert werden. Sofern Oxidationskatalysator 12 und Partikelfilter 13 zu einem integralen gemeinsamen Bauteil zusammengefasst sind, so ist der erste NO_x -Sensor 17 vorzugsweise ausgangsseitig dieses Bauteils angeordnet.

Ein zweiter NO_x -Sensor 18 ist ausgangsseitig des ersten SCR-Katalysators 14 angeordnet und ermöglicht eine Ermittlung von gegebenenfalls durch den ersten SCR-Katalysator 14 schlüpfendem NO_x . In diesem Fall kann die durch den Injektor 15 bewirkte Anreicherung des Abgases mit dem Reduktionsmittel NH_3 angepasst werden.

Es sei angemerkt, dass einer oder beide der hier als NO_x -Sensoren bezeichneten Sensoren 17, 18 auch als kombinierte NO_x/NH_3 -Sensoren ausgebildet sein können. Dadurch können neben den NO_x -Gehalten im Abgas stromauf bzw. stromab des ersten SCR-Katalysators 14 auch die korrespondierenden NH_3 -Gehalte ermittelt werden, was gegebenenfalls die Genauigkeit der NH_3 -Dosierung verbessern kann.

Insgesamt ist durch das erfindungsgemäße Verbrennungsmotorsystem ein äußerst umweltfreundlicher Betrieb eines entsprechenden Fahrzeugs ermöglicht. Es werden nicht nur Emissionen von klimaschädlichem CO_2 zumindest weitgehend vermieden, sondern auch zumindest weitestgehend die Emissionen von Kohlenwasserstoffen NO_x , NH_3 und Partikeln.

Bezugszeichenliste

1	Verbrennungsmotor
2	Abgasnachbehandlungsanlage
3	Luftzufuhrleitung
4	Saugrohr
5	Turbolader-Verdichter
6	Erste NH ₃ -Zufuhrleitung
7	Tank
8	Abgaskrümmern
9	Abgasleitung
10	Turbolader-Turbine
11	Zweiter SCR-Katalysator
12	Oxidationskatalysator
13	Partikelfilter
14	Erster SCR-Katalysator
15	Injektor
16	Zweite NH ₃ -Zufuhrleitung
17	Erster NO _x -Sensor
18	Zweiter NO _x -Sensor

Patentansprüche

1. Verbrennungsmotorsystem umfassend einen zumindest überwiegend mit Ammoniak als Kraftstoff betriebenen Verbrennungsmotor (1) mit daran angeschlossener Abgasreinigungsanlage (2) zur Reinigung eines vom Verbrennungsmotor (1) abgegebenen Abgases, wobei die Abgasreinigungsanlage (2) einen ersten SCR-Katalysator (14) zur Reduktion von im Abgas enthaltenen Stickoxiden aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgasreinigungsanlage (2) ferner einen zweiten SCR-Katalysator (11) zur Reduktion von im Abgas enthaltenen Stickoxiden aufweist, der dem ersten SCR-Katalysator (14) strömungstechnisch vorgeschaltet ist.
2. Verbrennungsmotorsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgasreinigungsanlage (2) genau einen Injektor (15) zur Zugabe von Ammoniak zum Abgas aufweist, wobei der Injektor (15) zur Zugabe von Ammoniak zum Abgas eingangsseitig des ersten SCR-Katalysators (14) ausgebildet ist.
3. Verbrennungsmotorsystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgasreinigungsanlage (2) einen Partikelfilter (13) zur Ausfilterung von im Abgas enthaltenen Partikeln aufweist, wobei der Partikelfilter (13) strömungstechnisch vor dem ersten SCR-Katalysator (14) und hinter dem zweiten SCR-Katalysator (11) angeordnet ist.
4. Verbrennungsmotorsystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgasreinigungsanlage (2) einen Oxidationskatalysator (12) aufweist, der strömungstechnisch zwischen dem zweiten SCR-Katalysator (11) und dem Partikelfilter (13) angeordnet ist.

5. Verbrennungsmotorsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungsmotor (1) als kompressionsgezündeter Verbrennungsmotor ausgebildet ist.
6. Betriebsverfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotorsystems, bei welchem von einem zumindest überwiegend mit Ammoniak als Kraftstoff betriebenen Verbrennungsmotor (1) abgegebenes Abgas gereinigt wird, wobei im Abgas enthaltene Stickoxide an einem ersten SCR-Katalysator (14) mittels dem Abgas durch einen Injektor (15) zugegebenem Ammoniak reduziert werden, und im Abgas enthaltene Stickoxide zusätzlich an einem dem ersten SCR-Katalysator (14) strömungstechnisch vorgeschalteten zweiten SCR-Katalysator (11) mittels vom Verbrennungsmotor (1) abgegebenem Ammoniak reduziert werden.
7. Betriebsverfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass im Abgas enthaltene Partikel mittels eines strömungstechnisch zwischen dem ersten SCR-Katalysator (14) und dem zweiten SCR-Katalysator (11) angeordneten Partikelfilter (13) aus dem Abgas ausgefiltert werden.
8. Betriebsverfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungsmotor (1) zumindest überwiegend mit Luftüberschuss betrieben wird.

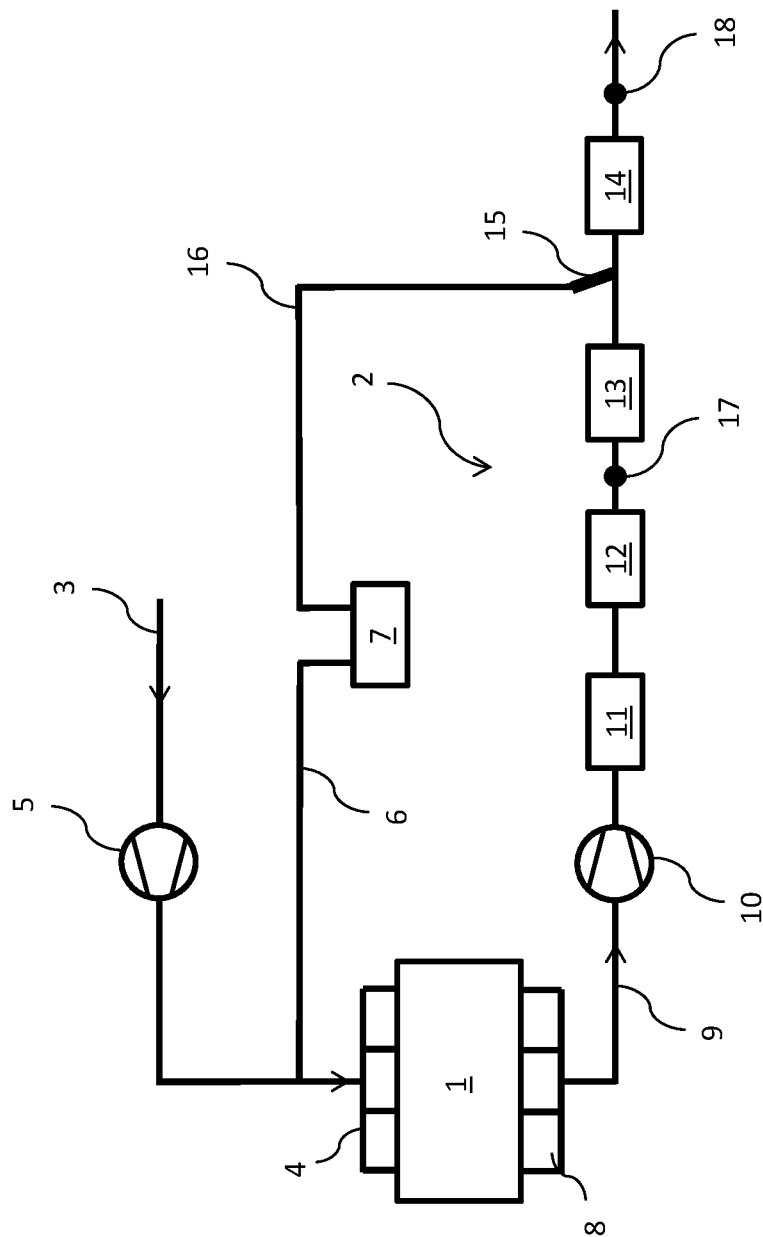


Fig. 1

Patentansprüche

1. Verbrennungsmotorsystem umfassend einen zumindest überwiegend mit Ammoniak als Kraftstoff betriebenen Verbrennungsmotor (1) mit daran angeschlossener Abgasreinigungsanlage (2) zur Reinigung eines vom Verbrennungsmotor (1) abgegebenen Abgases, wobei die Abgasreinigungsanlage (2) einen ersten SCR-Katalysator (14) zur Reduktion von im Abgas enthaltenen Stickoxiden aufweist, wobei die Abgasreinigungsanlage (2) ferner einen zweiten SCR-Katalysator (11) zur Reduktion von im Abgas enthaltenen Stickoxiden aufweist, der dem ersten SCR-Katalysator (14) strömungstechnisch vorgeschaltet ist, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite SCR-Katalysator (11) als passiver SCR-Katalysator ausgebildet ist, welcher eine Reduktion von im Abgas enthaltenen Stickoxiden mittels vom Verbrennungsmotor (1) ausgestoßenen Ammoniak und ohne eine Reduktionsmittelzugabe von außen bewirkt.
2. Verbrennungsmotorsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgasreinigungsanlage (2) genau einen Injektor (15) zur Zugabe von Ammoniak zum Abgas aufweist, wobei der Injektor (15) zur Zugabe von Ammoniak zum Abgas eingangsseitig des ersten SCR-Katalysators (14) ausgebildet ist.
3. Verbrennungsmotorsystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgasreinigungsanlage (2) einen Partikelfilter (13) zur Ausfilterung von im Abgas enthaltenen Partikeln aufweist, wobei der Partikelfilter (13) strömungstechnisch vor dem ersten SCR-Katalysator (14) und hinter dem zweiten SCR-Katalysator (11) angeordnet ist.
4. Verbrennungsmotorsystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass

die Abgasreinigungsanlage (2) einen Oxidationskatalysator (12) aufweist, der strömungstechnisch zwischen dem zweiten SCR-Katalysator (11) und dem Partikelfilter (13) angeordnet ist.

5. Verbrennungsmotorsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungsmotor (1) als kompressionsgezündeter Verbrennungsmotor ausgebildet ist.
6. Betriebsverfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotorsystems, bei welchem von einem zumindest überwiegend mit Ammoniak als Kraftstoff betriebenen Verbrennungsmotor (1) abgegebenes Abgas gereinigt wird, wobei im Abgas enthaltene Stickoxide an einem ersten SCR-Katalysator (14) mittels dem Abgas durch einen Injektor (15) zugegebenem Ammoniak reduziert werden, und im Abgas enthaltene Stickoxide zusätzlich an einem dem ersten SCR-Katalysator (14) strömungstechnisch vorgeschalteten zweiten SCR-Katalysator (11) mittels vom Verbrennungsmotor (1) abgegebenem Ammoniak reduziert werden.
7. Betriebsverfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass im Abgas enthaltene Partikel mittels eines strömungstechnisch zwischen dem ersten SCR-Katalysator (14) und dem zweiten SCR-Katalysator (11) angeordneten Partikelfilter (13) aus dem Abgas ausgefiltert werden.
8. Betriebsverfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungsmotor (1) zumindest überwiegend mit Luftüberschuss betrieben wird.