

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Ammoniakverbrennungsmotors, einen Ammoniakverbrennungsmotor und eine mobile oder stationäre Anlage umfassend einen Ammoniakverbrennungsmotor.

[0002] Ammoniakverbrennungsmotoren sind Verbrennungsmotoren, die Ammoniak als Kraftstoff verwenden, und stellen eine Alternative zu "klassischen" Verbrennungsmotoren dar, die als Brennstoff Kohlenwasserstoffe wie Erdgas, Benzin oder Diesel einsetzen. Der Einsatz von Ammoniakverbrennungsmotoren ist insbesondere wünschenswert, wenn Kohlenwasserstoffe aus fossilen Quellen durch Ammoniak mit niedrigerem CO_2 -Fußabdruck als Brennstoff wenigstens teilweise ersetzt werden. Dies ist selbst dann von Vorteil, wenn weiterhin andere Brennstoffe als Ammoniak zur Zündung oder Verbrennung des Ammoniaks eingesetzt werden. Zudem sind viele Ammoniakverbrennungsmotoren mehrbrennstofffähig, können also neben Ammoniak auch weiterhin mit anderen Brennstoffen betrieben werden.

[0003] Jedoch erzeugen Ammoniakverbrennungsmotoren Abgasströme, die sich von denen, die in einem klassischen Verbrennungsmotor anfallen, grundlegend unterscheiden. Hierbei stellt sich das Problem, dass je nach Betriebspunkt, Auslegung und Tuning des Ammoniakverbrennungsmotors ein Abgasstrom erzeugt wird, der einen Überschuss an Stickoxiden (NO_x) oder Ammoniak (NH_3) aufweisen kann. Dies stellt hohe Anforderungen an nachgeschaltete Abgasnachbehandlungssysteme, da diese für beide Situationen ausgelegt werden müssen, wodurch die Komplexität und der Kostenaufwand für die Abgasnachbehandlung von Ammoniakverbrennungsmotoren hoch sind.

[0004] Die Aufgabe der Erfindung ist es, eine Möglichkeit bereitzustellen, die Komplexität und/oder die Kosten für die Abgasnachbehandlung eines in einem Ammoniakverbrennungsmotor erzeugten Abgasstromes zu reduzieren.

[0005] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum Betreiben eines Ammoniakverbrennungsmotors mit einer Brennkammer und einer mit der Brennkammer in Strömungsverbindung stehenden Einspritzeinrichtung, mit der Ammoniak in die Brennkammer dosierbar ist, wobei Ammoniak derart in die Brennkammer dosiert wird, dass ein vom Ammoniakverbrennungsmotor erzeugter Abgasstrom unabhängig vom momentanen Betriebspunkt des Ammoniakverbrennungsmotors ein vorbestimmtes Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden aufweist.

[0006] Der "Betriebspunkt" des Ammoniakverbrennungsmotors bezeichnet einen bestimmten Punkt im Kennfeld des jeweiligen Ammoniakverbrennungsmotors. Entsprechend ist der momentane Betriebspunkt derjenige Punkt im Kennfeld des Ammoniakverbrennungsmotors, der zum momentanen Zeitpunkt vorliegt.

Der momentane Betriebspunkt ist somit auch ein Ausdruck für die Verbrennungsbedingungen im Ammoniakverbrennungsmotor.

[0007] Hier und im Folgenden bezieht sich der Begriff "Molverhältnis" auf das Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden, sofern nichts anderes erwähnt ist.

[0008] Die Erfindung basiert auf dem Grundgedanken, das Molverhältnis im erzeugten Abgasstrom derart aktiv zu steuern bzw. einzustellen, dass jederzeit ein zuvor festgelegtes und somit hinreichend bekanntes Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden im Abgasstrom erzeugt wird. Auf diese Weise muss ein dem Ammoniakverbrennungsmotor nachgeschaltetes Abgasnachbehandlungssystem lediglich auf das vorbestimmte Molverhältnis abgestimmt bzw. ausgerichtet werden, wodurch sich die Komplexität und Aufbau und somit die Kosten des Abgasnachbehandlungssystems minimieren lässt.

[0009] Das vorbestimmte Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden bezeichnet insbesondere das Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden im Abgasstrom an einem Auslass des Ammoniakverbrennungsmotors, beispielsweise am Ende einer mit der Brennkammer in Strömungsverbindung stehenden Abfuhrleitung des Ammoniakverbrennungsmotors. Anders ausgedrückt ist das vorbestimmte Molverhältnis insbesondere dasjenige Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden, das der vom Ammoniakverbrennungsmotor erzeugte Abgasstrom vor der Behandlung mit einem dem Ammoniakverbrennungsmotor nachgeschalteten Abgasnachbehandlungssystem aufweist.

[0010] Es ist jedoch auch möglich, dass als vorbestimmtes Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden dasjenige Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden herangezogen wird, dass der Abgasstrom aufweist, bevor der Abgasstrom in einem aktiv gesteuerten Bestandteil des dem Ammoniakverbrennungsmotor nachgeschalteten Abgasnachbehandlungssystems behandelt wird. Somit können passiv arbeitende Bestandteile des Abgasnachbehandlungssystems den Abgasstrom bereits behandelt haben.

[0011] In einer Variante liegt das vorbestimmte Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden (R) im Bereich von $R:1$ bis $1,1 \times R:1$, wobei R eine vorgesehene NO_x -Reduktionsrate bezeichnet. Anders ausgedrückt beträgt das vorbestimmte Molverhältnis maximal das 1,1-fache der vorgesehenen NO_x -Reduktionsrate. Beträgt die vorgesehene NO_x -Reduktionsrate beispielsweise 80%, so kann das vorbestimmte Molverhältnis im Bereich von 0,8:1 bis 0,88:1 liegen. Die vorgesehene NO_x -Reduktionsrate R kann entsprechend kleiner 100 % sein, beispielsweise im Bereich von 80% bis kleiner 100% liegen.

[0012] In einer anderen Variante beträgt das vorbestimmte Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden 1:1 oder höher. Insbesondere liegt das vorbestimmte Molverhältnis im Bereich von 1:1 bis 1,5:1.

[0013] In dieser Variante wird somit ein Überschuss von Ammoniak im Vergleich zum Gehalt an Stickoxiden

im Abgasstrom gewählt oder wenigstens ein Gleichgewicht zwischen Ammoniak und den zu reduzierenden Stickoxiden. Anders ausgedrückt kann gezielt ein sogenannter "Ammoniakschlupf" genutzt werden. Es hat sich gezeigt, dass besonders vorteilhafte Betriebspunkte von Ammoniakverbrennungsmotoren genutzt werden können, wenn ein Ammoniakschlupf im Abgasstrom in Kauf genommen wird.

[0014] Vorteilhaft an einem Ammoniakschlupf im Abgasstrom ist zudem, dass in einem nachgeschalteten Abgasnachbehandlungssystem auf zusätzliche Dosiersysteme zum Zudosieren von Ammoniak in den Abgasstrom verzichtet werden kann oder ein Dosierbereich des Abgasnachbehandlungssystems des zusätzlichen Dosiersystems zumindest minimiert werden kann. Derartige Dosiersysteme sind notwendig, wenn ein Überschuss an Stickoxiden im Abgasstrom vorliegen würde, um diese zu Stickstoff und Wasser umzusetzen. Somit können die Komplexität, die Kosten und der Platzbedarf des Abgasnachbehandlungssystems weiter reduziert werden, da entweder komplett auf ein Dosiersystem verzichtet werden oder zumindest kostengünstigere Dosiersysteme mit kleineren Dosierbereichen und/oder einfacheren Komponenten vorgesehen werden können.

[0015] Ferner ist es möglich, dass als vorbestimmtes Molverhältnis ein Molverhältnis gewählt wird, das für den Abbau von Lachgas optimiert eingestellt wird, da neben Ammoniak und Stickoxiden im Abgasstrom auch Lachgas (N_2O) enthalten ist.

[0016] Lachgas ist ein an wenigstens einigen Betriebspunkten eines Ammoniakverbrennungsmotors anfallendes Nebenprodukt mit einem Treibhausgaspotential, das in einem Zeithorizont von 100 Jahren mehr als dem 250-fachen des Treibhausgaspotentials von Kohlenstoffdioxid entspricht. Somit ist es von entscheidender Bedeutung, dass im Abgasstrom enthaltenes Lachgas zuverlässig im Abgasnachbehandlungssystem aus dem Abgasstrom umgewandelt wird.

[0017] Zu diesem Zweck kann das vorbestimmte Molverhältnis derart gewählt werden, dass das vorbestimmte Molverhältnis zwar nicht optimiert für die Ammoniak- und Stickoxidabgasnachbehandlung ist, jedoch optimiert dafür, Lachgas aus dem Abgasstrom zu entfernen. Dies kann durch ein Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden im Abgasstrom erfolgen, das auf einen im Abgasnachbehandlungssystem angeordneten N_2O -Zersetzungskatalysator abgestimmt wird, sodass der N_2O -Zersetzungskatalysator eine optimierte Umsetzungsrate und Selektivität erreicht.

[0018] In einer Variante umfasst das Verfahren folgende Schritte:

a) Ermitteln des momentanen Betriebspunkts des Ammoniakverbrennungsmotors,

b) Bestimmen eines erwarteten Molverhältnisses von Ammoniak zu Stickoxiden im erzeugten Abgasstrom am momentanen Betriebspunkt,

c) Vergleichen des erwarteten Molverhältnisses mit dem vorbestimmten Molverhältnis, und

d) Anpassen der in die Brennkammer über die Einspritzeinrichtung dosierten Menge an Ammoniak, falls das erwartete Molverhältnis um mehr als einen Schwellenwert vom vorbestimmten Molverhältnis abweicht.

[0019] Der Schwellenwert ist insbesondere derart festgelegt, dass bei einer Abweichung von mehr als 5 % zwischen erwartetem Molverhältnis und vorbestimmten Molverhältnis die dosierte Menge an Ammoniak angepasst wird.

[0020] Die Schritte a) bis d) können in einer Kontrolleinheit des Ammoniakverbrennungsmotors ausgeführt werden, wobei in der Kontrolleinheit der Schwellenwert hinterlegt ist.

[0021] Bevorzugt werden die Schritte a) bis d) kontinuierlich wiederholt, sodass etwaige übermäßige Abweichungen vom vorbestimmten Molverhältnis zeitnah erkannt und noch mit minimalem Zeitverzug ausgeglichen werden können.

[0022] "Kontinuierlich wiederholt" bedeutet in diesem Zusammenhang, dass zwischen zwei Wiederholungen der jeweiligen Verfahrensschritte lediglich die für die Durchführung der weiteren Verfahrensschritte zwingend benötigte Zeitdauer eingehalten wird.

[0023] Das erwartete Molverhältnis wird insbesondere anhand eines in einer Kontrolleinheit des Ammoniakverbrennungsmotors hinterlegten Datensatzes ermittelt, wobei der Datensatz wenigstens auf einer Betriebsinformation zum Verhalten des Ammoniakverbrennungsmotors basiert.

[0024] Zu den Betriebsinformationen zum Verhalten des Ammoniakverbrennungsmotors (auch als Motorbetriebsparameter bezeichnet) kann wenigstens eine der folgenden Informationen gehören: Menge an pro Zeiteinheit in die Brennkammer dosierten Ammoniaks, Gesamtmenge an in einem Verbrennungszyklus in die Brennkammer dosierten Menge an Ammoniak, zeitliche Verteilung der in die Brennkammer dosierten Menge an Ammoniak, Ladeluftdruck, Temperatur, relative Luftfeuchte, Luft-Brennstoff-Verhältnis und Zünddruck.

[0025] Der hinterlegte Datensatz stellt somit ein "Mapping" des Verhaltens des Ammoniakverbrennungsmotors dar. Je umfangreicher der hinterlegte Datensatz ausgestaltet wird, desto genauer kann das erwartete Molverhältnis basierend auf dem Datensatz ermittelt werden.

[0026] Insbesondere kann das erwartete Molverhältnis anhand des hinterlegten Datensatzes vollständig passiv ermittelt werden, das heißt, es müssen keine zusätzlichen aktiv gemessenen Parameter in die Ermittlung des erwarteten Molverhältnisses einfließen. Dies ist insbesondere von Vorteil, wenn das Verhalten des Ammoniakverbrennungsmotors bei allen relevanten Betriebspunkten hinreichend bekannt ist und über die im hinter-

legten Datensatz gespeicherten Betriebsinformationen hinreichend genau beschrieben werden kann.

[0027] Alternativ oder zusätzlich kann der Ammoniakverbrennungsmotor über wenigstens einen Sensor verfügen, der den erzeugten Abgasstrom beprobt, wobei das erwartete Molverhältnis anhand der vom Sensor beim Beprobieren erzeugten Sensormessdaten ermittelt wird. Auf diese Weise kann über eine aktive Überprüfung der Zusammensetzung des erzeugten Abgasstroms eine besonders präzise Aussage zum erwarteten Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden gewonnen werden. Insbesondere kann die Dosierung von Ammoniak in die Brennkammer des Abgasnachbehandlungssystems in einem "closed loop"-Verfahren basierend auf den erzeugten Sensormessdaten angepasst werden.

[0028] Auch ist es möglich, dass für das Bestimmen des erwarteten Molverhältnisses von Ammoniak zu Stickoxiden eine Kombination der im hinterlegten Datensatz vorhandenen Betriebsinformationen und vom wenigstens einen Sensor erzeugten Sensormessdaten herangezogen wird.

[0029] Zudem kann die Kontrolleinheit über ein Maschinelernmodul verfügen, das dazu eingerichtet ist, die wenigstens eine Betriebsinformation basierend auf den vom wenigstens einen Sensor erzeugten Sensormessdaten anzupassen. Auf diese Weise können beim Einsatz des Ammoniakverbrennungsmotors festgestellte Abweichungen berücksichtigt werden, sodass jederzeit das erwartete Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden zuverlässig und präzise bestimmt werden kann.

[0030] Der wenigstens eine Sensor kann sowohl an einer Stelle im Abgasstrom angeordnet sein, an dem das vorbestimmte Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden vorliegen muss, als auch an einer Stelle, die lediglich einen Rückschluss auf das tatsächliche Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden an einer anderen Stelle im Abgasstrom ermöglicht, an der das vorbestimmte Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden vorliegen muss.

[0031] Beispielsweise ist es möglich, dass wenigstens einer der Sensoren in einem dem Ammoniakverbrennungsmotor zugeordneten Abgasnachbehandlungssystem angeordnet ist.

[0032] In einer Variante wird die in die Brennkammer dosierte Menge an Ammoniak über eine Aufladung und/oder eine Spülung der Brennkammer gewählt, insbesondere über eine Ventilüberschneidung des Ammoniakverbrennungsmotors.

[0033] Die Ventilüberschneidung kann über das Öffnungsverhalten

a) eines Einlassventils oder mehrerer Einlassventile und eines Auslassventils oder mehrerer Auslassventile der Brennkammer des Ammoniakverbrennungsmotors,

b) über einen Einlassschlitz oder mehrere Einlassschlitze und einen Auslassschlitz oder mehrere Auslassschlitze der Brennkammer des Ammoniakver-

brennungsmotors,

c) einer Kombination von einem oder mehreren Einlassschlitzen und einem oder mehreren Auslassventilen der Brennkammer des Ammoniakverbrennungsmotors oder

d) einer Kombination von einem oder mehreren Einlassventilen und einem oder mehreren Auslassschlitzen

vorgegeben bzw. variiert werden. Auch ist es möglich, dass zusätzlich eine Abgasrückführung (AGR, auch engl. als "Exhaust gas recirculation" / EGR bezeichnet) genutzt wird.

[0034] In noch einer Variante ist die Einspritzeinrichtung eine Direkteinspritzeinrichtung und Ammoniak wird in einer modifizierten Einspritzung in die Brennkammer dosiert.

[0035] Eine modifizierte Einspritzung kann über eine längere Dauer der Haupteinspritzung, eine Mehrfacheinspritzung oder eine zusätzliche Nacheinspritzung realisiert werden.

[0036] Wird Ammoniak zusätzlich in einer Nacheinspritzung in die Brennkammer dosiert, wird der Zeitpunkt der Nacheinspritzung so gewählt, dass zumindest nicht mehr die Gesamtmenge an in der Nacheinspritzung dosierten Ammoniaks im aktuellen Takt bzw. Verbrennungszyklus des Ammoniakverbrennungsmotors umgesetzt wird, also zu einem Zeitpunkt, an dem die Hauptverbrennung von Brennstoff im aktuellen Takt bzw. Verbrennungszyklus des Ammoniakverbrennungsmotors vollständig abgeschlossen oder nahezu abgeschlossen ist. Somit fungiert das über die Nacheinspritzung dosierte Ammoniak zumindest teilweise nicht mehr als Brennstoff, sondern als Chemikalie zur Optimierung bzw. Vereinfachung der Abgasnachbehandlung des in der Brennkammer erzeugten Abgasstroms. Analoge Nacheinspritzungsverfahren sind beispielsweise aus Dieselmotoren hinlänglich bekannt.

[0037] Der in der Brennkammer vorhandene Kraftstoff wird insbesondere mittels eines Zündstrahls gezündet. Auf diese Weise kann auf den Einsatz von alternativen Zündeinrichtungen, wie beispielsweise einer Zündkerze, verzichtet werden, während zugleich eine zuverlässige Zündung und ein definiertes Verbrennungsverhalten realisiert werden kann. Somit kann über die Verwendung eines Zündstrahls die Dosierung von Ammoniak in die Brennkammer und das im erzeugten Abgasstrom am momentanen Betriebspunkt vorliegende vorbestimmte Molverhältnis noch besser gesteuert werden.

[0038] Die Aufgabe wird ferner erfindungsgemäß gelöst durch einen Ammoniakverbrennungsmotor mit einer Brennkammer und einer mit der Brennkammer in Strömungsverbindung stehenden Einspritzeinrichtung, mit der Ammoniak in die Brennkammer dosierbar ist, wobei der Ammoniakverbrennungsmotor dazu eingerichtet ist, das Verfahren wie zuvor beschrieben auszuführen.

[0039] Die Merkmale und Eigenschaften des erfindungsgemäßen Verfahrens gelten entsprechend für den erfindungsgemäßen Ammoniakverbrennungsmotor und umgekehrt.

[0040] Die Aufgabe wird weiter erfindungsgemäß gelöst durch eine mobile oder stationäre Anlage umfassend einen Ammoniakverbrennungsmotor wie zuvor beschrieben und ein mit dem Ammoniakverbrennungsmotor in Strömungsverbindung stehendem Abgasnachbehandlungssystem zum Behandeln des vom Ammoniakverbrennungsmotor erzeugten Abgasstroms.

[0041] Die mobile Anlage kann ein Fahrzeug wie ein Landfahrzeug oder ein Wasserfahrzeug, beispielsweise ein Schiff, sein. Das Landfahrzeug kann straßen- oder schienengebunden sein. Es ist jedoch auch möglich, dass es sich um ein nicht straßen- oder schienengebundenes Fahrzeug handelt, beispielsweise um ein Fahrzeug im Forst-, Agrar- oder Bergbaubereich.

[0042] Die stationäre Anlage kann ein Kraftwerk zur Strom-, Wärme- und/oder Kälteproduktion sein. Es ist auch möglich, dass die stationäre Anlage eine Kompressionsanlage, eine Pumpe oder eine Anlage für den stationären direkten Antrieb von mechanischen Prozessen ist.

[0043] Weitere Merkmale und Eigenschaften der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung einer beispielhaften Ausführungsformen, die nicht in einem einschränkenden Sinn verstanden werden soll, sowie aus den Zeichnungen. In diesen zeigen:

- Fig. 1 ein erfindungsgemäßes Fahrzeug mit einem erfindungsgemäßen Ammoniakverbrennungsmotor, und
- Fig. 2 eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Ammoniakverbrennungsmotors, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Betreiben des Ammoniakverbrennungsmotors durchzuführen.

[0044] In Fig. 1 ist eine erfindungsgemäße mobile oder stationäre Anlage 10 dargestellt, welches in der gezeigten Ausführungsform ein Fahrzeug, speziell ein Wasserfahrzeug ist, nämlich ein Frachtschiff.

[0045] Die erfindungsgemäße mobile oder stationäre Anlage 10 kann grundsätzlich auch ein anderes Wasserfahrzeug oder ein Landfahrzeug sein, beispielsweise ein straßengebundenes Fahrzeug oder ein schienengebundenes Fahrzeug. Auch ist es möglich, dass die erfindungsgemäße mobile oder stationäre Anlage 10 ein Kraftwerk ist.

[0046] Das Fahrzeug wird über einen Ammoniakverbrennungsmotor 12 angetrieben, das heißt über einen Motor, der Ammoniak (NH_3) als Kraftstoff verwendet und diesen mit Sauerstoff (O_2) umsetzt. Sauerstoff ist in der Umgebungsluft des Ammoniakverbrennungsmotors 12 enthalten, welche direkt zur Verbrennung von Ammoniak verwendet werden kann.

[0047] Der bei diesem Verbrennungsprozess erzeugte Abgasstrom kann neben den gewünschten Umsetzungsprodukten Stickstoff (N_2) und Wasser (H_2O) nicht umgesetzten Ammoniak sowie Stickoxide (NO_x) enthalten, die aus dem Abgasstrom entfernt werden müssen, bevor dieser an die Umwelt abgegeben wird.

[0048] Der erzeugte Abgasstrom wird daher mit einem dem Ammoniakverbrennungsmotor 12 zugeordneten Abgasnachbehandlungssystem 14 behandelt.

[0049] Fig. 2 zeigt weitere Details des erfindungsgemäßen Ammoniakverbrennungsmotors 12 und des Abgasnachbehandlungssystems 14.

[0050] Der Ammoniakverbrennungsmotor 12 verfügt über einen Zylinder 15, der eine Brennkammer 16 aufweist und einen Kolben 18 umfasst, der beweglich innerhalb des Zylinders 15 angeordnet ist und mit einer (nicht dargestellten) Kurbelwelle verbunden ist.

[0051] Über eine Luftzufuhrleitung 20 und ein Luftlassventil 22 kann ausgehend von einer Luftzufuhr 24 Frischluft in die Brennkammer 16 zugegeben werden. Somit steht die Luftzufuhr 24 in Strömungsverbindung mit der Brennkammer 16.

[0052] Ammoniak ist mittels einer Einspritzeinrichtung 26 in die Brennkammer 16 dosierbar, wobei die Einspritzeinrichtung 26 eine Einspritzdüse 28 und eine Einspritzregeleinheit 30 umfasst, die in Strömungsverbindung miteinander stehen.

[0053] Die Einspritzregeleinheit 30 wird über eine Ammoniakzufuhrleitung 32 mittels einer Pumpe 34 aus einem Tank 36 versorgt, in dem Ammoniak vorgelegt ist.

[0054] In der gezeigten Ausführungsform handelt es sich um ein Direkteinspritzsystem, bei dem Luft und Ammoniak direkt in die Brennkammer 16 dosiert werden. Es versteht sich, dass auch abweichende Ausgestaltungen des Ammoniakverbrennungsmotors 12 eingesetzt werden können. Beispielsweise kann eine vorgelagerte Mischkammer vorgesehen sein, in der Ammoniak und Luft zu einem Ammoniak-Luft-Gemisch vermischt und das Ammoniak-Luft-Gemisch in die Brennkammer 16 dosiert wird.

[0055] Auch kann eine Ausgestaltung des Ammoniakverbrennungsmotors 12 vorgesehen sein, in der das in der Brennkammer 16 vorhandene Ammoniak-Luft-Gemisch mit Hilfe eines Zündstrahls gezündet wird.

[0056] Das innerhalb der Brennkammer 16 erzeugte Abgas wird als Abgasstrom über ein Auslassventil 38 in eine Abfuhrleitung 40 des Ammoniakverbrennungsmotors 12 und aus dieser zum Abgasnachbehandlungssystem 14 geführt, wie in Fig. 2 über einen Pfeil P angedeutet ist.

[0057] Das Abgasnachbehandlungssystem 14 verfügt über eine erste Katalysatoreinheit 42, eine zweite Katalysatoreinheit 44 und eine dritte Katalysatoreinheit 46, die in der genannten Reihenfolge in Strömungsrichtung des Abgasstroms angeordnet sind.

[0058] Die Art und Funktion der Katalysatoreinheiten 42, 44 und 46 ist auf die erwartete chemische Zusammensetzung des Abgasstroms ausgerichtet, um im Ab-

gasstrom enthaltene Stickoxide sowie enthaltenes Ammoniak zu Stickstoff und Wasser umzusetzen.

[0059] Beispielsweise ist die erste Katalysatoreinheit 42 ein erster SCR-Katalysator, die zweite Katalysatoreinheit 44 ein Oxidationskatalysator zum Abbau von Ammoniak und die dritte Katalysatoreinheit 46 ein zweiter SCR-Katalysator.

[0060] Das Abgasnachbehandlungssystem 14 kann auch eine abweichende Anzahl von und/oder andere Arten an Katalysatoreinheiten umfassen, beispielsweise zusätzlich einen N_2O -Zersetzungskatalysator, der im Abgasstrom enthaltenes Lachgas (N_2O) zu Stickstoff und Sauerstoff umsetzt.

[0061] Der Ammoniakverbrennungsmotor 12 umfasst ferner eine Kontrolleinheit 48, die dazu eingerichtet ist, die Einspritzregeleinheit 30 zu steuern und somit dazu eingerichtet ist, die Menge von in die Brennkammer 16 eingespritzten Ammoniaks zu regulieren.

[0062] Die Kontrolleinheit 48 umfasst ein Speichermodul 50, in dem Betriebsinformationen zum Verhalten des Ammoniakverbrennungsmotors 12 hinterlegt sind.

[0063] Zudem verfügt die Kontrolleinheit 48 über ein Maschinenlernmodul 52, auf dessen Funktion später noch eingegangen wird.

[0064] Die Kontrolleinheit 48 ist mit Sensoren 54, 56 und 58 signalübertragend verbunden, wobei der Sensor 54 dem Ammoniakverbrennungsmotor 12 zugeordnet ist, nämlich der Abfuhrleitung 40, und die Sensoren 56 und 58 dem Abgasnachbehandlungssystem 14 zugeordnet sind.

[0065] Der Sensor 56 ist, entlang der Strömungsrichtung des Abgasstroms betrachtet, vor der ersten Katalysatoreinheit 42 und der Sensor 58 zwischen der ersten Katalysatoreinheit 42 und der zweiten Katalysatoreinheit 44 angeordnet.

[0066] Die Sensoren 54, 56 und 58 beproben den Abgasstrom, wobei aus den daraus erhaltenen Sensordaten der Sensoren 54, 56 und 58 auf das Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden im Abgasstrom am Ort des jeweiligen Sensors 54, 56 bzw. 58 geschlossen werden kann.

[0067] Im Folgenden wird ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Betreiben des Ammoniakverbrennungsmotors 12 erläutert.

[0068] Wie zuvor bereits beschrieben wird innerhalb der Brennkammer 16 Ammoniak als Brennstoff mit Luft umgesetzt. Die chemische Zusammensetzung des bei der Umsetzung erzeugten Abgases, und somit die chemische Zusammensetzung des über die Abfuhrleitung 40 abgegebenen Abgasstroms, ist im Allgemeinen vom momentanen Betriebspunkt des Ammoniakverbrennungsmotors 12 abhängig, beispielsweise von den derzeit vorliegenden Lastbedingungen.

[0069] Erfindungsgemäß erfolgt die Dosierung von Ammoniak über die Einspritzeinrichtung 26 derart, dass das Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden im Abgasstrom einem vorbestimmten Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden entspricht.

[0070] Bevorzugt beträgt das vorbestimmte Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden 1:1 oder höher und liegt insbesondere im Bereich von 1:1 bis 1,5:1, sodass jederzeit ein äquimolares Verhältnis zwischen Ammoniak und Stickoxiden oder ein Ammoniaküberschuss vorliegt. Es ist auch möglich, dass ein deutlicher Ammoniaküberschuss angestrebt wird, indem das vorbestimmte Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden 2:1 oder höher beträgt, beispielsweise im Bereich von 2:1 bis 10:1 liegt.

[0071] In einer anderen Ausführungsform liegt das vorbestimmte Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden (R) im Bereich von R:1 bis $1,1 \times R:1$, wobei R eine vorgesehene NO_x -Reduktionsrate bezeichnet. Beträgt die vorgesehene NO_x -Reduktionsrate beispielsweise 80%, so kann das vorbestimmte Molverhältnis im Bereich von 0,8:1 bis 0,88:1 liegen.

[0072] In noch einer anderen Ausführungsform wird das vorbestimmte Molverhältnis derart gewählt, dass ein im Abgasnachbehandlungssystem 14 eingesetzter N_2O -Zersetzungskatalysator eine optimierte Umsetzungsrate und Selektivität erreicht.

[0073] Erfindungsgemäß kann das Abgasnachbehandlungssystem 14 somit derart ausgelegt werden, dass lediglich Abgasströme mit dem vorbestimmten Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden gehandhabt werden müssen.

[0074] Um sicherzustellen, dass jederzeit das vorbestimmte Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden im Abgasstrom vorliegt, kann folgende Abfolge an Schritten erfolgen.

[0075] Zunächst wird der momentane Betriebspunkt des Ammoniakverbrennungsmotors 12 ermittelt, das heißt, der Punkt im Kennfeld des Ammoniakverbrennungsmotors 12, der die derzeit vorherrschenden Lastbedingungen widerspiegelt.

[0076] Anschließend wird ein erwartetes Molverhältnis von Ammoniak zu Stickstoff im am momentanen Betriebspunkt erzeugten Abgasstrom bestimmt.

[0077] Das erwartete Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden kann anhand des im Speichermodul 50 hinterlegten Datensatzes ermittelt werden. Zu diesem Zweck basiert der Datensatz auf wenigstens einer Betriebsinformation zum Verhalten des Ammoniakverbrennungsmotors.

[0078] Zu den Betriebsinformationen können eine oder mehrere der folgenden Informationen gehören: Menge an pro Zeiteinheit in die Brennkammer dosierten Ammoniaks, Gesamtmenge an in einem Verbrennungszyklus in die Brennkammer dosierten Menge an Ammoniak, zeitliche Verteilung der in die Brennkammer dosierten Menge an Ammoniak, Ladeluftdruck, Temperatur, relative Luftfeuchte, Luft-Brennstoff-Verhältnis und Zünddruck.

[0079] Anders ausgedrückt kann basierend auf Erfahrungswerten zum Verhalten des Ammoniakverbrennungsmotors 12 dessen Verhalten am momentanen Betriebspunkt abgeschätzt und basierend darauf die Dosie-

zung von Ammoniak in die Brennkammer 16 derart angepasst werden, dass der Abgasstrom das geforderte vorbestimmte Molverhältnis von Ammoniak zu Stickstoff aufweist.

[0080] In der gezeigten Ausführungsform kann die Kontrolleinheit 48 zusätzlich auf die von den Sensoren 54, 56 und 58 erhobenen Sensormessdaten zurückgreifen.

[0081] Der Sensor 54 liefert in diesem Zusammenhang Informationen zur Zusammensetzung des Abgasstroms direkt nachdem dieser die Brennkammer 16 verlassen hat.

[0082] Der Sensor 56 ermöglicht es, die Zusammensetzung des Abgasstroms zu Beginn des Abgasnachbehandlungssystems 14 zu ermitteln, also noch bevor der Abgasstrom von einer der Katalysatoreinheiten 42, 44 und 46 behandelt wurde.

[0083] Der Sensor 58 liefert Informationen zur Zusammensetzung des Abgasstroms nachdem der Abgasstrom die erste Katalysatoreinheit 42 bereits durchlaufen hat.

[0084] Basierend auf den Sensormessdaten der Sensoren 54, 56 und 58 ist somit eine Abschätzung des tatsächlichen Ist-Werts des Molverhältnisses von Ammoniak zu Stickoxiden im Abgasstrom am Einbauort des jeweiligen Sensors 54, 56 und 58 möglich, das als erwartetes Molverhältnis herangezogen werden kann.

[0085] Es ist jedoch auch möglich, dass anhand der erhaltenen Sensormessdaten das erwartete Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden an einem anderen Ort innerhalb der Abfuhrleitung 40 und/oder des Abgasnachbehandlungssystems 14 lediglich auf Basis der Sensormessdaten in der Kontrolleinheit 48 bestimmt wird.

[0086] Grundlegend kann das erwartete Molverhältnis von Ammoniak zu Stickstoff auch lediglich basierend auf dem Datensatz oder lediglich basierend auf den erhobenen Sensormessdaten bestimmt werden. Auch können weniger oder mehr Sensoren zum Einsatz kommen als in Fig. 2 dargestellt.

[0087] Die Kontrolleinheit 48 kann in der gezeigten Ausführungsform unter Einsatz des Maschinenlernmoduls 52 die im Datensatz enthaltenen Betriebsinformationen basierend auf den von den Sensoren 54, 56 und 58 erhaltenen Sensormessdaten aktualisieren, sodass jederzeit Betriebsinformationen bereitgestellt werden können, die das reale Verhalten des Ammoniakverbrennungsmotors 12 optimal beschreiben.

[0088] Das bestimmte erwartete Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden wird anschließend mit dem vorbestimmten Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden verglichen.

[0089] Weicht das erwartete Molverhältnis um mehr als einen Schwellenwert vom vorbestimmten Molverhältnis ab, wird die über die Einspritzeinrichtung 26 in die Brennkammer 16 dosierte Menge an Ammoniak angepasst, derart, dass sich das vorbestimmte Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden wieder einstellt.

[0090] Beispielsweise wird bei Bedarf über die Ein-

spritzdüse 28 eine Ammoniaknacheinspritzung in die Brennkammer 16 vorgenommen, um auf diese Weise den Anteil an Ammoniak im Abgasstrom zu erhöhen.

[0091] Die zuvor beschriebenen Verfahrensschritte können kontinuierlich wiederholt werden, um jederzeit auf Änderungen im momentanen Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden zu reagieren und so besonders zuverlässig sicherzustellen, dass das vorbestimmte Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden erreicht ist.

[0092] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, jederzeit eine kontrollierte Zusammensetzung des Abgasstroms zu erzeugen und auf diese Weise die Komplexität und die Betriebskosten des Abgasnachbehandlungssystems 14 minimieren zu können, ohne Nachteile in der Qualität der Abgasnachbehandlung in Kauf nehmen zu müssen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Ammoniakverbrennungsmotors (12) mit einer Brennkammer (16) und einer mit der Brennkammer (16) in Strömungsverbindung stehenden Einspritzeinrichtung (26), mit der Ammoniak in die Brennkammer (16) dosierbar ist, wobei Ammoniak derart in die Brennkammer (16) dosiert wird, dass ein vom Ammoniakverbrennungsmotor (12) erzeugter Abgasstrom unabhängig vom momentanen Betriebspunkt des Ammoniakverbrennungsmotors (12) ein vorbestimmtes Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden aufweist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das vorbestimmte Molverhältnis von Ammoniak zu Stickoxiden (R) im Bereich von R:1 bis $1,1 \times R:1$ liegt, wobei R eine vorgesehene NO_x -Reduktionsrate bezeichnet, oder 1:1 oder höher beträgt, insbesondere im Bereich von 1:1 bis 1,5:1 liegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:
 - a) Ermitteln des momentanen Betriebspunkts des Ammoniakverbrennungsmotors (12),
 - b) Bestimmen eines erwarteten Molverhältnisses von Ammoniak zu Stickoxiden im erzeugten Abgasstrom am momentanen Betriebspunkt,
 - c) Vergleichen des erwarteten Molverhältnisses mit dem vorbestimmten Molverhältnis, und
 - d) Anpassen der in die Brennkammer (16) über die Einspritzeinrichtung (26) dosierten Menge an Ammoniak, falls das erwartete Molverhältnis um mehr als einen Schwellenwert vom vorbestimmten Molverhältnis abweicht.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Schritte a) bis d) kontinuierlich wiederholt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei das erwartete Molverhältnis anhand eines in einer Kontrolleinheit (48) des Ammoniakverbrennungsmotors (12) hinterlegten Datensatzes ermittelt wird, wobei der Datensatz wenigstens auf einer Betriebsinformation zum Verhalten des Ammoniakverbrennungsmotors (12) basiert. 5

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei der Ammoniakverbrennungsmotor (12) über wenigstens einen Sensor (54, 56, 58) verfügt, der den erzeugten Abgasstrom beprobt, und wobei das erwartete Molverhältnis anhand der vom Sensor (54, 56, 58) beim Beprobieren erzeugten Sensormessdaten ermittelt wird. 10
15

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die in die Brennkammer (16) dosierte Menge an Ammoniak über eine Aufladung und/oder eine Spülung der Brennkammer (16) gewählt wird. 20

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Einspritzeinrichtung (26) eine Direkteinspritzeinrichtung ist und Ammoniak in einer modifizierten Einspritzung in die Brennkammer (16) dosiert wird, wobei die modifizierte Einspritzung insbesondere über eine längere Dauer der Haupteinspritzung, eine Mehrfacheinspritzung oder eine zusätzliche Nacheinspritzung realisiert wird. 25
30

9. Ammoniakverbrennungsmotor (12) mit einer Brennkammer (16) und einer mit der Brennkammer (16) in Strömungsverbindung stehenden Einspritzeinrichtung (26), mit der Ammoniak in die Brennkammer (16) dosierbar ist, wobei der Ammoniakverbrennungsmotor (12) dazu eingerichtet ist, das Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen. 35

10. Mobile oder stationäre Anlage (10), umfassend einen Ammoniakverbrennungsmotor (12) nach Anspruch 9 und ein mit dem Ammoniakverbrennungsmotor (12) in Strömungsverbindung stehendem Abgasnachbehandlungssystem (14) zum Behandeln des vom Ammoniakverbrennungsmotor (12) erzeugten Abgasstroms. 40
45

50

55

Fig. 1

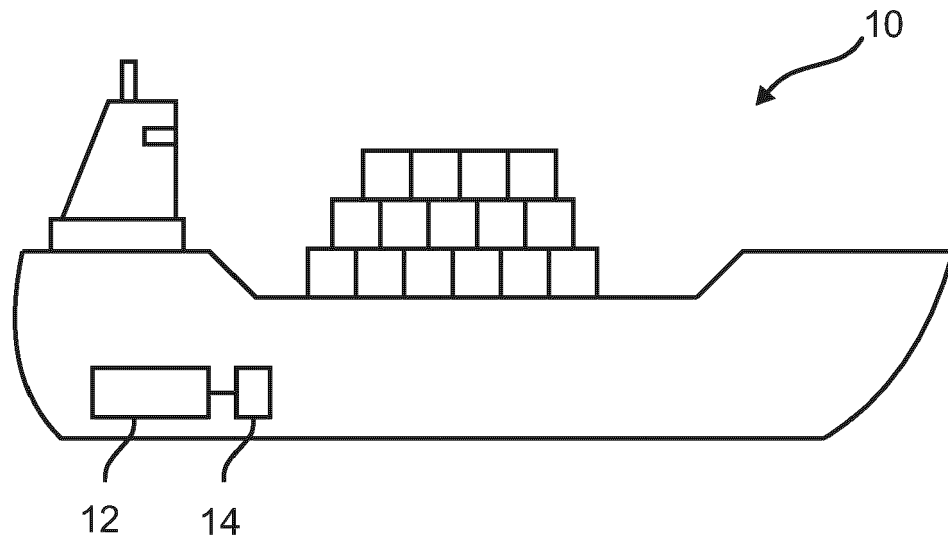
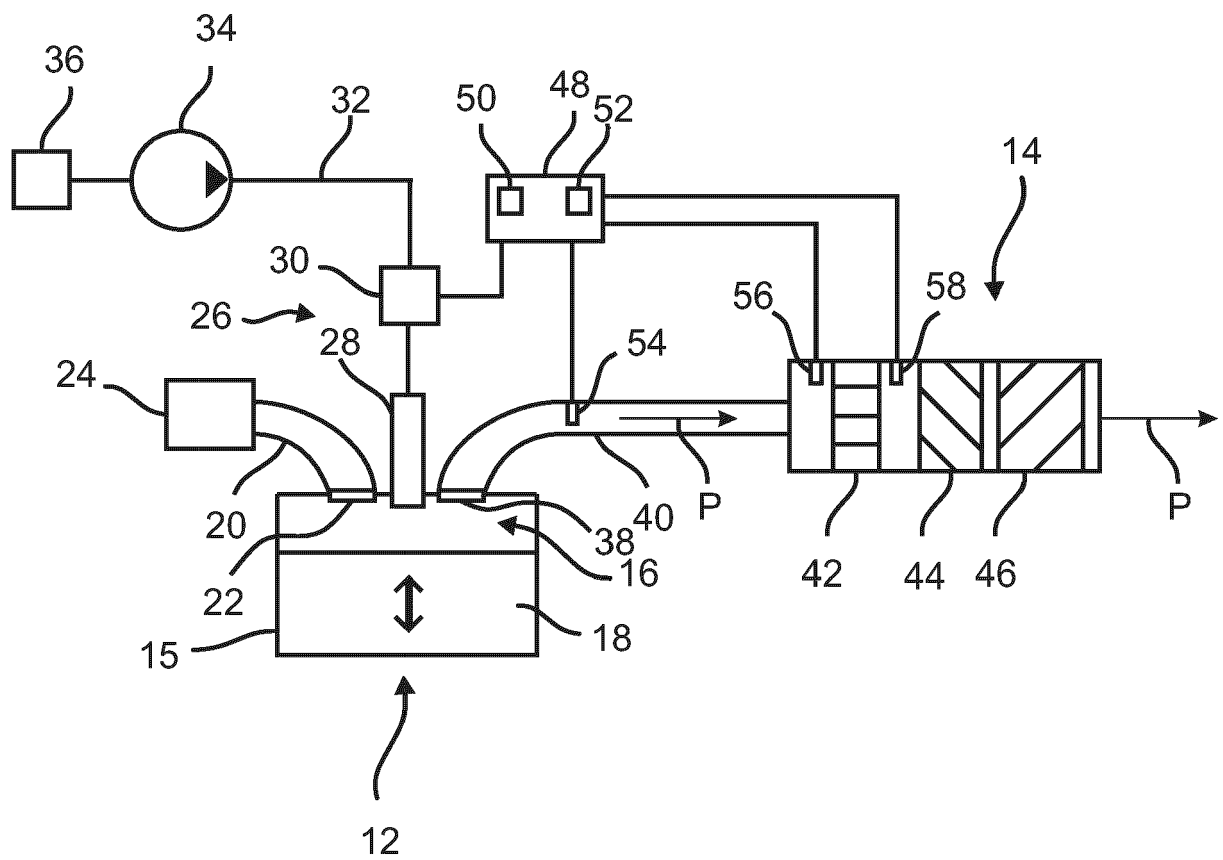


Fig. 2





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 23 21 3038

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 11 2011 101487 T5 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 7. Februar 2013 (2013-02-07) * Zusammenfassung * * Anspruch 1 * * Abbildung 1 * * Abbildung 5 * * Absatz [0079] * * Absatz [0090] * * Absatz [0096] * * Absatz [0106] - Absatz [0108] * -----	1-10	INV. F02D19/06 F02D41/14
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F02D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 24. April 2024	Prüfer Kämper, Fabian
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.****EP 23 21 3038**

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

24-04-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	DE 112011101487 T5	07-02-2013	CN 102859170 A	02-01-2013
			DE 112011101487 T5	07-02-2013
			JP 5408345 B2	05-02-2014
			JP WO2011136034 A1	18-07-2013
			US 2011265455 A1	03-11-2011
			WO 2011136034 A1	03-11-2011
20	-----			
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82