

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50029/2023
(22) Anmeldetag: 23.01.2023
(43) Veröffentlicht am: 15.06.2024

(51) Int. Cl.: **F02M 25/022** (2006.01)
F02M 25/028 (2006.01)
F02M 26/00 (2016.01)
F01N 3/035 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
CN 113266494 A
DE 102016205666 A1
CN 112377300 A

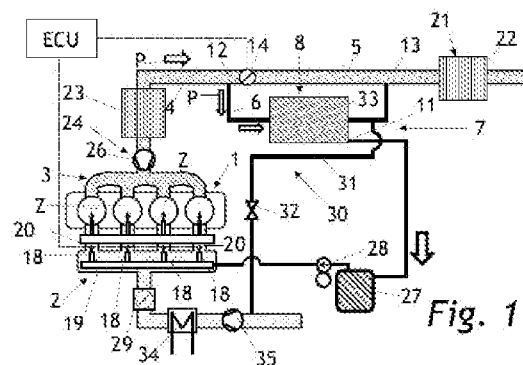
(71) Patentanmelder:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)
(72) Erfinder:
Kapus Paul Dr.
8111 Gratwein-Straßengel (AT)
Heindl Rene Dipl.-Ing. Dr.
8020 Graz (AT)
Diniz Netto Nilton Antonio
8020 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Babeluk Michael Dipl.-Ing. Mag.
1080 Wien (AT)

(54) **Wasserstoffbetriebene Brennkraftmaschine**

(57) Die Erfindung betrifft eine wasserstoffbetriebene Brennkraftmaschine (1) mit einem Einlasssystem (2) und einem Auslasssystem (3), wobei das Auslasssystem (3) über zumindest ein Abgasrückführleitung (31) mit dem Einlasssystem (2) strömungsverbindbar ist und in der Abgasrückführleitung (31) zumindest ein Abgasrückführventil (32) angeordnet ist, mit zumindest einer in zumindest einem Abgaspfad angeordnete Wasserrückgewinnungseinrichtung (7) zur Rückgewinnung von Wasser aus dem Abgas des Auslasssystems (3) und zumindest einer Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) um das rückgewonnene Wasser der Verbrennung zuzuführen, wobei die Wasserrückgewinnungseinrichtung (7) zumindest eine Wärmetauscheranordnung (8) mit zumindest einem Wärmetauscher (9, 10, 33) und zumindest einen Wasserabscheider (11) aufweist, wobei die durch den Abgaspfad strömende Abgasmenge durch zumindest eine Durchflusssteuereinrichtung (14) steuerbar oder regelbar ist, wobei die Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) und die Durchflusssteuereinrichtung (14) mit zumindest einer elektronischen Steuereinheit (ECU) verbunden sind.

Eine effiziente und einfache Abgaswärmenutzung kann erreicht werden, wenn in zumindest einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) die durch den Abgaspfad strömende Abgasmenge durch die Durchflusssteuereinrichtung (14) an einen definierten Kondensatbedarf der Brennkraftmaschine (1) anpassbar ist, und/oder dass die durch die Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) eingespritzte rückgewonnene Wassermenge an einen definierten Kondensatanfall anpassbar ist.



Z U S A M M E N F A S S U N G

Die Erfindung betrifft eine wasserstoffbetriebene Brennkraftmaschine (1) mit einem Einlasssystem (2) und einem Auslasssystem (3), wobei das Auslasssystem (3) über zumindest ein Abgasrückführleitung (31) mit dem Einlasssystem (2) strömungsverbindbar ist und in der Abgasrückführleitung (31) zumindest ein Abgasrückführventil (32) angeordnet ist, mit zumindest einer in zumindest einem Abgaspfad angeordnete Wasserrückgewinnungseinrichtung (7) zur Rückgewinnung von Wasser aus dem Abgas des Auslasssystems (3) und zumindest einer Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) um das rückgewonnene Wasser der Verbrennung zuzuführen, wobei die Wasserrückgewinnungseinrichtung (7) zumindest eine Wärmetauscheranordnung (8) mit zumindest einem Wärmetauscher (9, 10, 33) und zumindest einen Wasserabscheider (11) aufweist, wobei die durch den Abgaspfad strömende Abgasmenge durch zumindest eine Durchflussteuereinrichtung (14) steuerbar oder regelbar ist, wobei die Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) und die Durchflussteuereinrichtung (14) mit zumindest einer elektronischen Steuereinheit (ECU) verbunden sind.

Eine effiziente und einfache Abgaswärmenutzung kann erreicht werden, wenn in zumindest einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) die durch den Abgaspfad strömende Abgasmenge durch die Durchflussteuereinrichtung (14) an einen definierten Kondensatbedarf der Brennkraftmaschine (1) anpassbar ist, und/oder dass die durch die Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) eingespritzte rückgewonnene Wassermenge an einen definierten Kondensatanfall anpassbar ist.

Fig. 1

Die Erfindung betrifft eine wasserstoffbetriebene Brennkraftmaschine mit einem Einlasssystem und einem Auslasssystem, wobei das Auslasssystem über zumindest ein Abgasrückführleitung mit dem Einlasssystem strömungsverbindbar ist und in der Abgasrückführleitung zumindest ein Abgasrückführventil angeordnet ist, mit zumindest einer in zumindest einem Abgaspfad angeordnete Wasserrückgewinnungseinrichtung zur Rückgewinnung von Wasser aus dem Abgas des Auslasssystems und zumindest einer Wassereinspritzeinrichtung um das rückgewonnene Wasser der Verbrennung zuzuführen, wobei die Wasserrückgewinnungseinrichtung zumindest eine Wärmetauscheranordnung mit zumindest einem Wärmetauscher und zumindest einen Wasserabscheider aufweist, wobei die durch den Abgaspfad strömende Abgasmenge durch zumindest eine Durchflussssteuereinrichtung steuerbar oder regelbar ist.

Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Brennkraftmaschine.

Unter wasserstoffbetriebene Brennkraftmaschinen sind hier Brennkraftmaschinen zu verstehen, die mit Wasserstoff oder mit Gemischen aus Wasserstoff und weiteren Kraftstoffen wie beispielsweise Erdgas (CNG=compressed natural Gas) oder Methan betrieben werden.

Aus den Veröffentlichungen US 3,983,882 A, EP 1 213 464 A2 sind mit Wasserstoff als Kraftstoff betriebene Brennkraftmaschinen mit jeweils einer Wasserrückgewinnungseinrichtung zur Rückgewinnung von Wasser aus einem Vollstrom oder Teilstrom des Abgases bekannt, wobei das kondensierte Wasser in das Einlasssystem eingebracht wird.

Die WO 2005/031135 A1 und die WO 2005/012708 A1 offenbart jeweils eine wasserstoffbetriebene Brennkraftmaschine, bei der zur Wirkungsgraderhöhung Wasser durch Kondensation des in dem Abgasstrom der Brennkraftmaschine enthaltenen Wasserdampfes gewonnen, in einem Speicher zwischengespeichert und den Zylinderräumen der Brennkraftmaschine zugeführt wird. Das Abgas wird dabei in einem ersten Wärmetauscher und einem zweiten Wärmetauscher abgekühlt und in einem Wasserabscheider kondensiert.

Aus der CN113266494 A ist eine Brennkraftmaschine mit Wassereinspritzung bekannt, wobei Kondenswasser aus Abgas in einem Abgaspfad über eine Wasserrückgewinnungseinrichtung rückgewonnen, in einem Kondensatbehälter gespeichert und über eine Wassereinspritzeinrichtung in das Einlasssystem eingespritzt wird. Dabei wird zur Umgehung der im Abgaspfad angeordneten Wasserrückgewinnungseinrichtung über eine elektronische Steuereinheit ein Bypassventil in Abhängigkeit des Flüssigkeitsniveaus im Kondensatbehälter gesteuert. Die Wasserrückgewinnungseinrichtung weist einen Wärmetauscher und einen Kondensator auf.

Die DE 10 2014 003 796 A1 beschreibt ein Verfahren zur Rückgewinnung von Wasser aus den Abgasen eines Dieselmotors mit nachfolgendem Wiedereinsatz des Wassers zur Herstellung einer Kraftstoff-Dieselöl/Wasser-Emulsion. Die Abgase werden dabei in einer Kondensationsstrecke abgezweigt, in der der Druck erhöht und die Temperatur in einem Luft/Gas-Kühler gesenkt wird. Dem Luft/Gas-Kühler ist ein Kondensator nachgeschaltet.

Aufgabe der Erfindung ist es, bei einer wasserstoffbetriebenen Brennkraftmaschine zumindest bedarfsweise eine effiziente und einfache Abgaswärmenutzung zu ermöglichen bzw. ein entsprechendes Verfahren bereit zu stellen.

Ausgehend von einer Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art wird dies erfindungsgemäß dadurch erreicht, dass in zumindest einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine die durch den Abgaspfad strömende Abgasmenge durch die Durchflusssteuereinrichtung an einen definierten Kondensatbedarf der Brennkraftmaschine anpassbar ist, und/oder dass die durch die Wassereinspritzeinrichtung eingespritzte rückgewonnene Wassermenge an einen definierten Kondensatanfall anpassbar ist.

Unter Kondensatbedarf ist die betriebspunktabhängige Menge an Kondenswasser zu verstehen, welche der Brennkraftmaschine zugeführt werden kann, um eine optimale Verbrennung zu ermöglichen. Vorzugsweise wird der definierte Kondensatbedarf in einem Motorkennfeld betriebspunktabhängig abgelegt und durch die elektronische Steuereinheit aus dem Motorkennfeld abgerufen.

Der definierte Kondensatanfall ist die betriebspunktabhängige Menge an Kondenswasser, welche durch die Wasserrückgewinnungseinrichtung aus dem

Abgas im Abgaspfad erzeugbar ist. In einer einfachen Ausführungsvariante ist vorgesehen, dass der definierte Kondensatanfall mittels eines Füllstandssensors eines mit der Wasserrückgewinnungseinrichtung verbundenen Kondensatbehälters – beispielsweise aus der zeitlichen Änderung des Füllstandes - ermittelt wird. Alternativ dazu kann der definierte Kondensatanfall auch aus einem Motorkennfeld bezogen werden, in welchem der Kondensatanfall Betriebspunktabhängig abgelegt ist.

Die Durchflusssteuereinrichtung wird erfindungsgemäß so gesteuert oder geregelt, dass die durch die Wasserrückgewinnungseinrichtung aus dem Abgas rückgewonnene Kondenswassermenge dem jeweiligen Kondensatbedarf der Brennkraftmaschine entspricht. Alternativ oder zusätzlich wird gemäß der Erfindung die Wassereinspritzeinrichtung durch die elektronische Steuereinheit so gesteuert oder geregelt, dass die – innerhalb der eine optimale Verbrennung ermöglichenden Toleranzgrenzen - eingespritzte Wassermenge der durch die Wasserrückgewinnungseinrichtung aus dem Abgas rückgewonnenen Kondenswassermenge entspricht.

In beiden Fällen kann der Kondensatbehälter somit relativ klein gehalten werden, da die erzeugte Kondenswassermenge zumindest überwiegend zeitnah verbraucht wird. Die beiden Maßnahmen können – eventuell abhängig vom jeweiligen Betriebspunkt - getrennt, also alternativ durchgeführt oder miteinander kombiniert werden.

In einer Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, dass die Durchflusssteuereinrichtung durch ein im Abgasrückführpfad bzw. in der Abgasrückführleitung angeordnetes Abgasrückführventil gebildet ist. Erfindungsgemäß ist zumindest ein mindestens eine Wasserrückgewinnungseinrichtung aufweisender Abgaspfad durch den Abgasrückführpfad gebildet.

Zur Erhöhung der erzeugten Kondensatmenge ist eine „Überkühlung“ des rückgeführten Abgases von Vorteil. Zur Verminderung der Verbrennungstemperaturen und Verringerung der Stickoxidemissionen wird rückgeführtes Abgas üblicherweise durch einen Abgaskühler geleitet.

Unter „Überkühlung“ ist eine Unterkühlung des Abgases zu verstehen, welche wesentlich über die zur Reduktion der Stickoxide erforderliche Abgaskühlung hinausgeht. Das durch Überkühlung unterkühlte - also übersättigte - Abgas weist einen instabilen Zustand auf, bei dem die Temperatur so niedrig ist, dass der im Abgas enthaltene Wasserdampf an Kondensationskeimen sehr rasch kondensiert.

Alternativ oder zusätzlich zur Wasserrückgewinnung aus dem rückgeführten Abgas kann vorgesehen sein, dass zumindest ein mindestens eine Wasserrückgewinnungseinrichtung aufweisender Abgaspfad ein zu einem Hauptabgaspfad strömungsmäßig parallel geführter Teilabgaspfad ist, wobei sich Hauptabgaspfad und Teilabgaspfad von einem gemeinsamen Abgasstrang verzweigen und im Hauptabgaspfad und/oder im Teilabgaspfad und/oder im Bereich der Verzweigung zumindest eine Durchflusssteuereinrichtung angeordnet ist.

In einer Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, dass zumindest eine Abgasenergieerückgewinnungsstufe stromaufwärts der Wärmetauscheranordnung angeordnet ist, wobei vorzugsweise die mechanische Abgasenergieerückgewinnungsstufe durch eine Abgasturbine gebildet ist, welche beispielsweise mit einem Generator antriebsverbunden ist. Günstigerweise ist die Abgasenergieerückgewinnungsstufe im gemeinsamen Abgasstrang, vorzugsweise stromaufwärts eines Katalysators, besonders vorzugsweise stromaufwärts eines NH_3 erzeugenden Katalysators, angeordnet. Dies ermöglicht eine effiziente Nutzung der Abgasenergie und einen ersten Abkühlschritt des Abgases. In dem NH_3 generierenden Katalysator wird beispielsweise NH_3 aus N_2 und H_2 katalytisch synthetisiert: $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$.

Eine einfache Ausführung der Erfindung sieht vor, dass zumindest eine Wassereinspritzeinrichtung – vorzugsweise zumindest zwei Wassereinspritzeinrichtungen – in einen Einlasskanal und/oder einen Einlasssammler und/oder in eine Einlassleitung des Einlasssystems mündet/einmünden. Die Wassereinspritzung kann beispielsweise mittels MPI (Multi Point Injection) in das Saugrohr der Brennkraftmaschine erfolgen.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn zumindest eine, vorzugsweise zumindest zwei Wassereinspritzeinrichtungen stromaufwärts einer Drosselklappe in die Einlassleitung des Einlasssystem einmündet/einmünden.

Um die Stickoxidemissionen zu reduzieren, ist es vorteilhaft, wenn das Auslasssystem zumindest eine NH_3 und NO_x reduzierende Vorrichtung aufweist, welche besonders vorzugsweise stromabwärts einer Einmündung des Teilabgaspfades in den Hauptabgaspfad angeordnet ist.

Die NH_3 und NO_x reduzierende Vorrichtung weist beispielsweise zumindest einen passiven SCR-Katalysator auf. Das Funktionsprinzip des SCR-Katalysators besteht darin, dass Ammoniak-Gas (NH_3) an geeigneten katalytischen Oberflächen mit Stickoxiden chemisch reagiert, wobei sowohl die Stickoxide als auch das Ammoniak-Gas abgebaut werden; es entstehen im Wesentlichen Stickstoff und Wasserdampf. Bei einem sogenannten passiven SCR-Katalysator wird bei einer Wasserstoff-Brennkraftmaschine als Reduktionsmittel im Abgas vorhandenes NH_3 – welches etwa durch einen NH_3 generierenden Katalysator erzeugt wird – genutzt, es ist also keine zusätzliche Verbrauchsflüssigkeit nötig.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn mit der Durchflusssteuereinrichtung die Temperatur für den passiven SCR-Katalysator steuerbar oder regelbar ist. Durch Verstellen der Durchflusssteuereinrichtung kann die Temperatur des in den SCR-Katalysator einströmenden Abgases gesteuert werden. Dadurch kann das den SCR-Katalysator passierende Abgas in dem für die Reduktion günstigen Temperaturbereich zwischen beispielsweise etwa 200° und 500° C gehalten werden.

Die Aufgabe der Erfindung wird außerdem durch ein eingangs genanntes Verfahren zum Betreiben einer oben beschriebenen Brennkraftmaschine erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass in zumindest einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine die durch den Abgaspfad strömende Abgasmenge durch die Durchflusssteuereinrichtung an einen definierten Kondensatbedarf der Brennkraftmaschine angepasst wird und/oder dass die durch die Wassereinspritzeinrichtung eingespritzte rückgewonnene Wassermenge an einen definierten Kondensatanfall angepasst wird.

Günstigerweise wird dabei der definierte Kondensatbedarf in einem Motorkennfeld betriebspunktabhängig abgelegt.

Vorzugsweise wird der definierte Kondensatanfall mittels eines Füllstandssensors in einem Kondensatbehälter ermittelt.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines nicht einschränkenden Ausführungsbeispiels, das in den Figuren dargestellt ist, näher erläutert. Darin zeigen schematisch:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine in einer ersten Ausführungsvariante,

Fig. 2 eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine in einer zweiten Ausführungsvariante,

Fig. 3 eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine in einer dritten Ausführungsvariante,

Fig. 4 eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine in einer vierten Ausführungsvariante, und

Fig. 5 eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine in einer fünften Ausführungsvariante.

Fig. 1 bis 5 zeigen jeweils eine wasserstoffbetriebene Brennkraftmaschine 1 mit einem Einlasssystem 2 und einem Auslasssystem 3, sowie mit einem zumindest eine Abgasrückführleitung 31 aufweisenden Abgasrückführsystem 30 zur Rückführung von Abgasen aus dem Auslasssystem 3 in das Einlasssystem 2. Die Abgasrückführleitung 31 mündet stromaufwärts einer Drosselklappe 29 und stromaufwärts eines Ladeluftkühlers 34 und eines Verdichters 35 einer hier beispielsweise durch einen Abgasturbolader gebildeten Abgasenergieerückgewinnungsstufe 24 in die Einlassleitung 36 des Einlasssystems 2 ein. Zur Steuerung des rückgeführten Abgases ist in der Abgasrückführleitung 31 ein Abgasrückführventil 32 angeordnet.

Als Verdichter 35 können mechanisch, elektrisch und/oder gasdynamisch angetriebene Kompressoren oder Mischformen davon verwendet werden. Insbesondere kann der Verdichter 35 ein Roots-Gebläse oder -Verdichter, ein Schrauben-Gebläse oder -Verdichter oder ein Zentrifugal-Gebläse oder -Verdichter sein.

Bei den in Fig. 1 und 2 gezeigten Ausführungsbeispielen weist das Auslasssystem 3 jeweils einen Abgasstrang 4 auf, der sich in einen Hauptabgaspfad 5 und einen strömungsmäßig parallel geführten Teilabgaspfad 6 verzweigt.

In dem Teilabgaspfad 6 ist eine Wasserrückgewinnungseinrichtung 7 angeordnet, welche eine Wärmetauscheranordnung 8 mit zumindest einem Wärmetauscher 33 - optional zumindest zwei Wärmetauschern - sowie einen Wasserabscheider 11 aufweist. In der gezeigten Ausführung sind der Wärmetauscher 9 und der Wasserabscheider 11 kombiniert, also in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet.

Stromabwärts der Wärmetauscheranordnung 8 und des Wasserabscheiders 11 sind der Teilabgaspfad 6 und der Hauptabgaspfad 5 wieder zusammengeführt. Der Bereich der Verzweigung ist mit Bezugszeichen 12, der Bereich der Zusammenführung mit Bezugszeichen 13 bezeichnet. Im Hauptabgaspfad 5 oder im Bereich der Verzweigung 12 ist eine Durchflusssteuereinrichtung 14 angeordnet, welche beispielsweise durch eine Klappe gebildet sein kann. Neben einer Drosselung des Hauptabgaspfades 5 zum Zweck der Durchflusssteuerung der Wasserrückgewinnungseinrichtung 7 kann die Durchflusssteuereinrichtung 14 auch so ausgebildet sein, dass sie den abzweigenden Teilabgaspfad 6 weitestgehend oder vollständig verschließt und dabei den Hauptabgaspfad 5 entsprechend freigibt.

In einer nicht weiter dargestellten Ausführungsvariante weist die Wärmetauscheranordnung 8 einen ersten Wärmetauscher und einen stromabwärts des ersten Wärmetauschers im Teilabgaspfad 6 angeordneten zweiten Wärmetauscher auf. Der erste Wärmetauscher der Wärmetauscheranordnung 8 ist beispielsweise mit der Fahrzeuginnenraumheizung verbunden. Der zweite Wärmetauscher der Wärmetauscheranordnung 8 kann zum Beispiel durch einen Niedertemperaturkreis gekühlt werden. Der Niedertemperaturkreis kann beispielsweise einen Ladeluftkühler, Batteriekühler oder E-Motorenkühler beinhalten. Weiters kann ein Wärmetauscher der Wärmetauscheranordnung 8, beispielsweise der zweite Wärmetauscher, als Wärmequelle für eine endotherme Reaktion fungieren und insbesondere mit einer Kraftstoffleitung verbunden sein. Somit kann die Abgaswärme zur Aufbereitung des Kraftstoffes, insbesondere zum Herauslösen von H_2 aus vertankten Trägermedien wie flüssigen organischen Wasserstoffträgern (LOHC=liquid organic hydrogen carriers) in ein entsprechendes Tanksystem genutzt werden. Als Zwischenspeicher für Wasserstoff können

bekannte LOHC-Materialien wie beispielsweise Toluol/Methylcyclohexan, N-Ethylcarbazol, Dibenzyltoluol, Benzyltoluol oder dergleichen verwendet werden.

Gemäß einer weiteren nicht dargestellten Ausführungsvariante der Erfindung sind der erste Wärmetauscher und/oder, der zweite Wärmetauscher und/oder der Wasserabscheider 11 in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet, wobei beispielsweise der erste Wärmetauscher, der zweite Wärmetauscher und der Wasserabscheider 11 als Kühl- und Kondensationseinheit ausgebildet sind. Dies ermöglicht eine effektive Kühlung des Abgases und eine effiziente Wasserabscheidung auf kleinstem Raum.

Eine besonders effektive Kühlung des Abgases lässt sich erzielen, wenn ein in die Wärmetauscheranordnung eintretender Abgasstrom durch einen aus der Wärmetauscheranordnung austretenden Abgasstrom im Kreuzstrom gekühlt wird, wobei der austretende Abgasstrom kühler ist als der eintretende Abgasstrom.

Eine als MPI (Multi Point Injection) ausgebildete Wassereinspritzeinrichtung 18 mündet in den Einlasssammler 19 oder in die zu den einzelnen Zylindern Z der Brennkraftmaschine 1 führenden Einlasskanäle 20.

Das Auslasssystem 3 weist zumindest eine NH_3 und NO_x reduzierende Vorrichtung 21 auf, welche stromabwärts der Zusammenführung des Teilabgaspfades 6 und des Hauptabgaspfad 5 angeordnet ist. Die NH_3 und NO_x reduzierende Vorrichtung 21 ist beispielsweise als passiver SCR-Katalysator 22 ausgebildet (SCR=selective catalytic reduction). Bei dem passiven SCR-Katalysator 22 wird bei einer Wasserstoff-Brennkraftmaschine 1 im stöchiometrischen Betrieb als Reduktionsmittel im Abgas vorhandenes NH_3 genutzt, es ist also keine zusätzliche Verbrauchsflüssigkeit nötig. Das Ammoniak-Gas im Abgas kann durch einen NH_3 generierenden Katalysator 23 erzeugt werden, welcher im gemeinsamen Abgasstrang 4 stromaufwärts oder stromabwärts der Verzweigung 12 angeordnet ist. In dem NH_3 generierenden Katalysator 23 wird beispielsweise NH_3 aus N_2 und H_2 katalytisch synthetisiert:

$$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3.$$

Stromaufwärts der Wärmetauscheranordnung 8 ist im gemeinsamen Abgasstrang 4 eine Abgasenergierückgewinnungsstufe 24 angeordnet, welche sowohl ein klassischer Turbolader für die Motoraufladung als auch durch eine mit einem Generator antriebsverbundene Abgasturbine 26 gebildet sein kann. Die

Abgasturbine 26 ist im gemeinsamen Abgasstrang 4 stromaufwärts des NH_3 erzeugenden Katalysators 23 angeordnet. Durch die Abgasenergierückgewinnungsstufe 24 wird die Brennkraftmaschine 1 aufgeladen und/oder Strom erzeugt. In jedem Fall erfolgt dabei eine erste Abkühlung des heißen Abgases.

Bei der in Fig. 1 dargestellten Ausführung ist die Verzweigung 12 zwischen dem NH_3 erzeugenden Katalysators 23 und dem passiven SCR-Katalysator 22 angeordnet. Die Ausführung in Fig. 2 unterscheidet sich davon, dass die Verzweigung 12 stromabwärts der Abgasturbine 26 und stromaufwärts des NH_3 erzeugenden Katalysators 23 angeordnet ist.

Bei der Brennkraftmaschine 1 wird mit Niederdruck, zum Beispiel mit 30 bis 40 bar, Wasserstoff direkt in die Zylinder Z eingeblasen. Die Wassereinspritzung erfolgt in den Einlasssammler 19 oder die Einlasskanäle 20. Die Brennkraftmaschine 1 wird stöchiometrisch mit einem Luft-/Kraftstoffverhältnis $\lambda=1$ betrieben. Die Ansaugluft wird beispielsweise über einen Abgasturbolader aufgeladen, der Betrieb der Brennkraftmaschine 1 erfolgt nach dem Miller-Kreisprozess mit frühem Einlassschluss.

Durch die Wasserrückgewinnungseinrichtung 7 kommt es zu einer Rekondensation des Wassers aus der H_2 -Verbrennung (bei $\lambda=1$: 256g/kg Abgas bzw. ca. 9kg H_2O /kg H_2) und aus der Wassereinspritzung (bis ca. 2kg/kg H_2). Bei einer H_2 Verbrennung mit Wassereinspritzung ergibt sich durch den hohen Wassergehalt ein relativ hoher Taupunkt im Bereich von 80°C. Daher braucht nur ein Teilstrom des Abgases für die Wasserrückgewinnung herangezogen werden.

Das rekondensierte Wasser wird in einem Kondensatbehälter 27 zwischengespeichert und über eine Pumpe 28 der Wassereinspritzeinrichtung 18 zugeführt.

Die Kühlleistung ergibt sich aus der Abkühlung des Abgases im Teilabgaspfad 6 unter den Taupunkt und der Kondensationsleistung für die notwendige Wassermenge und beträgt beispielsweise 10-20% der gesamten Motorleistung der Brennkraftmaschine 1. Die Kühlleistung kann durch eine im Folgenden beschriebene „rückkoppelnde“ Wärmetauscheranordnung 8 deutlich reduziert werden.

Bei der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsvariante zweigt die Abgasrückführleitung 31 stromaufwärts eines NH_3 generierenden Katalysators 23 und stromabwärts einer Abgasturbine 26 einer Abgasenergieerückgewinnungsstufe 24 vom Abgasstrang 4 ab. Im durch die Abgasrückführleitung 31 gebildeten Abgaspfad ist stromabwärts des Abgasrückführventils 32 eine Wärmetauscheranordnung 8 mit zumindest einem durch einen Abgasrückführkühler gebildeten Wärmetauscher 33 zur Kühlung des rückgeführten Abgases angeordnet. Weiters ist in der Abgasrückführleitung 31 stromabwärts des Wärmetauschers 33 ein Wasserabscheider 11 angeordnet.

Das Abgasrückführventil 32 bildet eine Durchflusssteuereinrichtung 14 zur Steuerung der durch den Abgasstrang geleiteten Abgase.

Die Fig. 4 und 5 zeigen Ausführungsvarianten, bei denen zusätzlich zu den in den Einlasssammler 19 oder in die Einlasskanäle 20 mündenden Wassereinspritzeinrichtungen 18 noch weitere Wassereinspritzeinrichtungen 180 vorgesehen sind, welche stromaufwärts der Drosselklappe 29 in die Einlassleitung 36 des Einlasssystems 2 münden. Dadurch kann der Ladeluftkühler 34 kleiner ausgelegt werden oder sogar entfallen.

In Fig. 4 ist dabei eine weitere Wassereinspritzeinrichtung 180 zwischen dem Ladeluftkühler 34 und der Drosselklappe 29 angeordnet. In Fig. 5 sind zwei in die Einlassleitung 36 einmündende weitere Wassereinspritzeinrichtungen 180 stromaufwärts der Drosselklappe 29 und stromabwärts des Verdichters 35 angeordnet, wodurch der Ladeluftkühler 34 entfallen kann.

Mittels der Durchflusssteuereinrichtung 14 kann die Temperatur des Abgases für den passiven SCR-Katalysator 22 gesteuert oder geregelt werden. Durch Öffnen oder Schließen der Durchflusssteuereinrichtung 14 kann die Temperatur des in den SCR-Katalysator 22 einströmenden Abgases abhängig vom Betriebspunkt der Brennkraftmaschine 1 gesteuert und in dem für die Reduktion des NH_3 und NO_x günstigen Temperaturbereich zwischen beispielsweise etwa 200° und 500°C gehalten werden.

Bei allen Ausführungsvarianten sind die Durchflusssteuereinrichtung 14 und die Wassereinspritzeinrichtungen 18 mit einer elektronischen Steuereinheit ECU verbunden. Dadurch kann in zumindest einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine die durch den Abgaspfad strömende Abgasmenge durch die

Durchflusssteuereinrichtung 14 an einen definierten Kondensatbedarf der Brennkraftmaschine 1 und/oder die durch die Wassereinspritzeinrichtungen 18 eingespritzte rückgewonnene Wassermenge an einen definierten Kondensatanfall angepasst werden.

Der Kondensatbedarf und/oder Kondensatanfall ist beispielsweise betriebspunktabhängig in einem Motorkennfeld abgelegt. Der Kondensatanfall kann auch beispielsweise mittels eines Füllstandssensors im Kondensatbehälter 27 ermittelt werden.

Durch die elektronische Steuereinheit ECU wird für den jeweiligen Betriebspunkt der definierte Kondensatbedarf abgerufen und die Durchflusssteuereinrichtung 14 innerhalb der für den optimalen Motorbetrieb vorgegebenen Grenzen so gesteuert bzw. geregelt, dass die durch den Abgaspfad strömende Abgasmenge und damit die aus dem Abgas gewonnene Kondensatmenge an den abgerufenen Kondensatbedarf angepasst wird.

Alternativ oder zusätzlich wird durch die elektronische Steuereinheit ECU für den jeweiligen Betriebspunkt der definierte Kondensatanfall abgerufen und die Wassereinspritzeinrichtungen 18 innerhalb der für den optimalen Motorbetrieb vorgegebenen Grenzen so gesteuert bzw. geregelt, dass die eingespritzte Wassermenge an den abgerufenen oder gemessenen Kondensatanfall angepasst wird.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

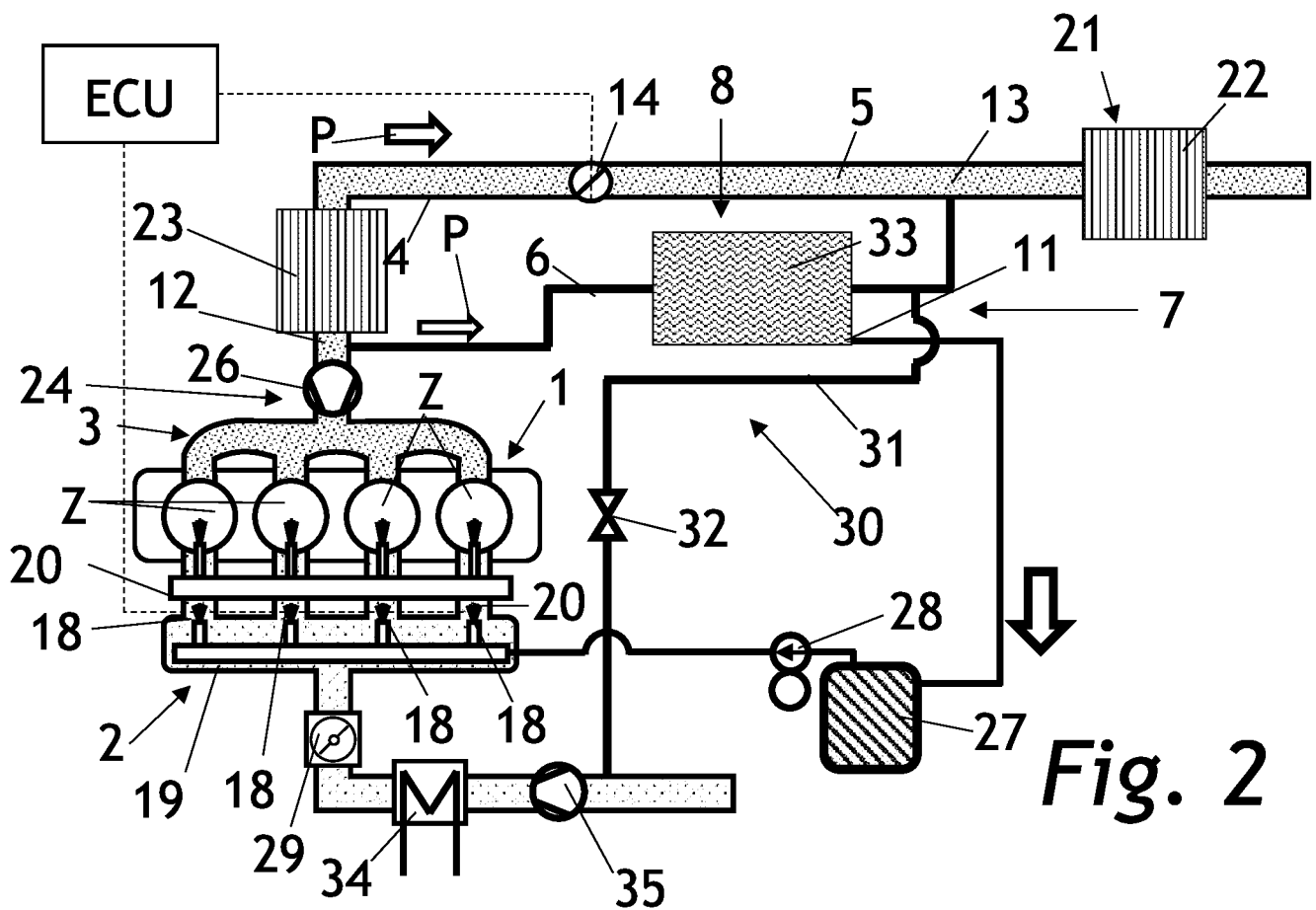
1. Wasserstoffbetriebene Brennkraftmaschine (1) mit einem Einlasssystem (2) und einem Auslasssystem (3), wobei das Auslasssystem (3) über zumindest ein Abgasrückführleitung (31) mit dem Einlasssystem (2) strömungsverbindbar ist und in der Abgasrückführleitung (31) zumindest ein Abgasrückführventil (32) angeordnet ist, mit zumindest einer in zumindest einem Abgaspfad angeordneten Wasserrückgewinnungseinrichtung (7) zur Rückgewinnung von Wasser aus dem Abgas des Auslasssystems (3) und zumindest einer Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) um das rückgewonnene Wasser der Verbrennung zuzuführen, wobei die Wasserrückgewinnungseinrichtung (7) zumindest eine Wärmetauscheranordnung (8) mit zumindest einem Wärmetauscher (9, 10) und zumindest einen Wasserabscheider (11) aufweist, wobei die durch den Abgaspfad strömende Abgasmenge durch zumindest eine Durchflussssteuereinrichtung (14) steuerbar oder regelbar ist, wobei die Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) und die Durchflussssteuereinrichtung (14) mit zumindest einer elektronischen Steuereinheit (ECU) verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass in zumindest einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) die durch den Abgaspfad strömende Abgasmenge durch die Durchflussssteuereinrichtung (14) an einen definierten Kondensatbedarf der Brennkraftmaschine (1) anpassbar ist, und/oder dass die durch die Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) eingespritzte rückgewonnene Wassermenge an einen definierten Kondensatanfall anpassbar ist.
2. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der definierte Kondensatbedarf in einem Motorkennfeld betriebspunktabhängig abgelegt ist.
3. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der definierte Kondensatanfall mittels eines Füllstandssensors eines mit der Wasserrückgewinnungseinrichtung (7) verbundenen Kondensatbehälter (27) ermittelbar ist.
4. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine Durchflussssteuereinrichtung (14)

durch das in der der Abgasrückführleitung (31) angeordnete Abgasrückführventil (32) gebildet ist.

5. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein mindestens eine Wasserrückgewinnungseinrichtung (7) aufweisender Abgaspfad durch die Abgasrückführleitung (31) gebildet ist.
6. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein mindestens eine Wasserrückgewinnungseinrichtung (7) aufweisender Abgaspfad ein zu einem Hauptabgaspfad (5) strömungsmäßig parallel geführter Teilabgaspfad (6) ist, wobei sich Hauptabgaspfad (5) und Teilabgaspfad (6) von einem gemeinsamen Abgasstrang (4) verzweigen und im Hauptabgaspfad (5) und/oder im Teilabgaspfad (6) und/oder im Bereich der Verzweigung (12) zumindest eine Durchflusssteuereinrichtung (14) angeordnet ist.
7. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine Abgasenergieerückgewinnungsstufe (24) stromaufwärts der Wärmetauscheranordnung (8) angeordnet ist.
8. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgasenergieerückgewinnungsstufe (24) durch eine Abgasturbine (26) gebildet ist, welche vorzugsweise mit einem Generator (25) antriebsverbunden ist.
9. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgasenergieerückgewinnungsstufe (24) im gemeinsamen Abgasstrang (4), vorzugsweise stromaufwärts eines Katalysators, besonders vorzugsweise stromaufwärts eines NH_3 erzeugenden Katalysators (23), angeordnet ist.
10. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine -vorzugsweise zumindest zwei - Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) in einen Einlasskanal (20) und/oder in einen Einlasssammler (19) und/oder in eine Einlassleitung (36) des Einlasssystems (2) mündet/münden.

11. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine -vorzugsweise zumindest zwei – Wassereinspritzeinrichtung(en) (180) stromaufwärts einer Drosselklappe (29) in die Einlassleitung (36) des Einlasssystems (2) mündet/münden.
12. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Auslasssystem (3) zumindest eine NH_3 und NO_x reduzierende Vorrichtung (21) aufweist, welche vorzugsweise stromabwärts einer Zusammenführung (13) des Teilabgaspfades (6) und des Hauptabgaspfades (5) angeordnet ist.
13. Verfahren zum Betreiben einer wasserstoffbetriebene Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass in zumindest einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) die durch den Abgaspfad strömende Abgasmenge durch die Durchflusssteuereinrichtung (14) an einen definierten Kondensatbedarf der Brennkraftmaschine (1) angepasst wird und/oder dass die durch die Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) eingespritzte rückgewonnene Wassermenge an einen definierten Kondensatanfall angepasst wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der definierte Kondensatbedarf in einem Motorkennfeld betriebspunktabhängig abgelegt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass der definierte Kondensatanfall mittels eines Füllstandssensors in einem Kondensatbehälter (27) ermittelt wird.

23.01.2023
FU/iv







(neue) P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Wasserstoffbetriebene Brennkraftmaschine (1) mit einem Einlasssystem (2) und einem Auslasssystem (3), wobei das Auslasssystem (3) über zumindest ein Abgasrückführleitung (31) mit dem Einlasssystem (2) strömungsverbindbar ist und in der Abgasrückführleitung (31) zumindest ein Abgasrückführventil (32) angeordnet ist, mit einer in zumindest einem Abgaspfad angeordneten Wasserrückgewinnungseinrichtung (7) zur Rückgewinnung von Wasser aus dem Abgas des Auslasssystems (3) und zumindest einer Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) um das rückgewonnene Wasser der Verbrennung zuzuführen, wobei die Wasserrückgewinnungseinrichtung (7) zumindest eine Wärmetauscheranordnung (8) mit zumindest einem Wärmetauscher (9, 10) und zumindest einen Wasserabscheider (11) aufweist, wobei zumindest ein die Wasserrückgewinnungseinrichtung (7) aufweisender Abgaspfad ein zu einem Hauptabgaspfad (5) strömungsmäßig parallel geführter Teilabgaspfad (6) ist, wobei sich Hauptabgaspfad (5) und Teilabgaspfad (6) in einer Verzweigung (12) von einem gemeinsamen Abgasstrang (4) verzweigen und im Hauptabgaspfad (5) und/oder im Teilabgaspfad (6) und/oder im Bereich der Verzweigung (12) zumindest eine Durchflussteuereinrichtung (14) angeordnet ist und die durch den Abgaspfad strömende Abgasmenge durch zumindest die Durchflussteuereinrichtung (14) steuerbar oder regelbar ist, wobei die Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) und die Durchflussteuereinrichtung (14) mit zumindest einer elektronischen Steuereinheit (ECU) verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass das Auslasssystem (3) zumindest eine NH_3 und NO_x reduzierende Vorrichtung (21) aufweist, welche stromabwärts einer Zusammenführung (13) des Teilabgaspfades (6) und des Hauptabgaspfades (5) angeordnet ist und zumindest einen passiven SCR-Katalysator (22) aufweist, wobei in zumindest einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) die durch den Abgaspfad strömende Abgasmenge durch die Durchflussteuereinrichtung (14) an einen definierten Kondensatbedarf der Brennkraftmaschine (1) anpassbar ist, und/oder dass die durch die Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) eingespritzte rückgewonnene Wassermenge an einen definierten Kondensatanfall anpassbar ist und mit der Durchflussteuereinrichtung (14)

die Temperatur für den passiven SCR-Katalysator (22) steuerbar oder regelbar ist.

2. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der definierte Kondensatbedarf in einem Motorkennfeld betriebspunktabhängig abgelegt ist.
3. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der definierte Kondensatanfall mittels eines Füllstandssensors eines mit der Wasserrückgewinnungseinrichtung (7) verbundenen Kondensatbehälter (27) ermittelbar ist.
4. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine Durchflusssteuereinrichtung (14) durch das in der der Abgasrückführleitung (31) angeordnete Abgasrückführventil (32) gebildet ist.
5. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein mindestens eine Wasserrückgewinnungseinrichtung (7) aufweisender Abgaspfad durch die Abgasrückführleitung (31) gebildet ist.
6. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine Abgasenergierückgewinnungsstufe (24) stromaufwärts der Wärmetauscheranordnung (8) angeordnet ist.
7. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgasenergierückgewinnungsstufe (24) durch eine Abgasturbine (26) gebildet ist, welche vorzugsweise mit einem Generator (25) antriebsverbunden ist.
8. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgasenergierückgewinnungsstufe (24) im gemeinsamen Abgasstrang (4), vorzugsweise stromaufwärts eines Katalysators, besonders vorzugsweise stromaufwärts eines NH_3 erzeugenden Katalysators (23), angeordnet ist.

9. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine -vorzugsweise zumindest zwei - Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) in einen Einlasskanal (20) und/oder in einen Einlasssammler (19) und/oder in eine Einlassleitung (36) des Einlasssystems (2) mündet/münden.
10. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine -vorzugsweise zumindest zwei - Wassereinspritzeinrichtung(en) (180) stromaufwärts einer Drosselklappe (29) in die Einlassleitung (36) des Einlasssystems (2) mündet/münden.
11. Verfahren zum Betreiben einer wasserstoffbetriebene Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass in zumindest einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) die durch den Abgaspfad strömende Abgasmenge durch die Durchflusssteuereinrichtung (14) an einen definierten Kondensatbedarf der Brennkraftmaschine (1) angepasst wird und/oder dass die durch die Wassereinspritzeinrichtung (18, 180) eingespritzte rückgewonnene Wassermenge an einen definierten Kondensatanfall angepasst wird und mittels der Durchflusssteuereinrichtung (14) die Temperatur des Abgases für den passiven SCR-Katalysator (22) gesteuert oder geregelt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der definierte Kondensatbedarf in einem Motorkennfeld betriebspunktabhängig abgelegt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass der definierte Kondensatanfall mittels eines Füllstandssensors in einem Kondensatbehälter (27) ermittelt wird.

26.01.2024
FU/iv