(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
14. Juni 2018 (14.06.2018)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/104442 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F01N 3/021 (2006.01) *F01N 3/02* (2006.01)
F01N 13/08 (2010.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/081811

(22) Internationales Anmeldedatum:
07. Dezember 2017 (07.12.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 224 641.0
09. Dezember 2016 (09.12.2016) DE

(71) Anmelder: **MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH** [DE/DE]; Maybachplatz 1, 88045 Friedrichshafen (DE).

(72) Erfinder: **BRECHT, Alexander**; Mühlstraße 60, 88085 Langenargen (DE). **HEHLE, Marc**; Haydnstraße 16, 78464 Konstanz (DE). **WILD, Markus**; Saint-Dié-Straße 31, 88045 Friedrchshafen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

WO 2018/104442 A1

(54) **Title:** EXHAUST GAS PATH FOR AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE, INTERNAL COMBUSTION ENGINE HAVING SUCH AN EXHAUST GAS PATH AND METHOD FOR AGGLOMERATING SOOT PARTICLES IN THE EXHAUST GAS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) **Bezeichnung:** ABGASPFAD FÜR EINE BRENNKRAFTMASCHINE, BRENNKRAFTMASCHINE MIT EINEM SOLCHEN ABGASPFAD UND VERFAHREN ZUM AGGLOMERIEREN VON RUSSPARTIKELN IM ABGAS EINER BRENNKRAFTMASCHINE

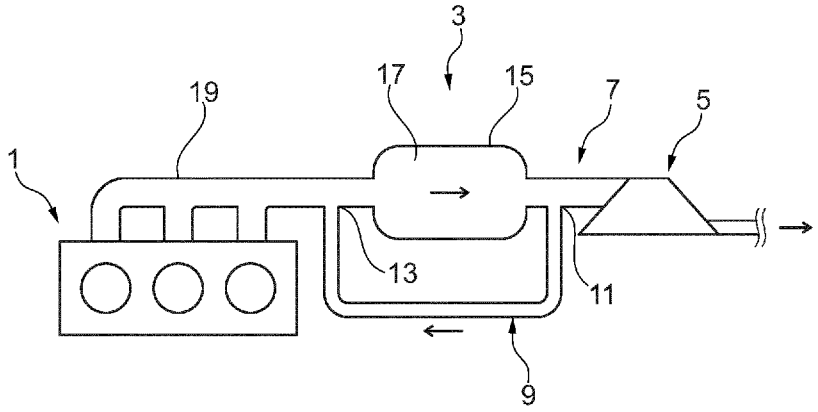


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to an exhaust gas path (3) for an internal combustion engine (1), having an exhaust gas turbine (5), a first line section (7) which is arranged upstream of the exhaust gas turbine (5) and is fluidically connected to the exhaust gas turbine (5), and having a second line section (9) which leads out from the first line section (7) at an exit point (11) and, viewed in the direction of an exhaust gas flow through the first line section (7), enters the first line section (7) at an entry point (13) upstream of the exit point (11), wherein the second line section (9) is designed to divert a portion of exhaust gas flowing along the first line section (7) at the exit point (11) and conduct it back to the entry point (13), and at least one exhaust gas flow delay device (15), which is designed to delay the exhaust gas flow flowing along the first and/or second line section (7, 9), is arranged in the first line section (7) and/or in the second line section (9). The invention further relates to a method for agglomerating soot particles in the exhaust gas of an internal combustion engine.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft einen Abgaspfad (3) für eine Brennkraftmaschine (1), mit einer Abgasturbine (5), einem ersten, stromaufwärts der Abgasturbine (5) angeordneten und mit der Abgasturbine (5) strömungstechnisch verbundenen Leitungsabschnitt (7), und mit einem zweiten Leitungsabschnitt (9), der an einer Ausmündestelle (11) aus dem ersten Leitungsabschnitt (7)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

ausmündet, und stromaufwärts – in Richtung eines Abgasstroms durch den ersten Leitungsabschnitt (7) gesehen – der Ausmündestelle (11) an einer Einmündestelle (13) in den ersten Leitungsabschnitt (7) einmündet, wobei der zweite Leitungsabschnitt (9) eingerichtet ist, um einen Teil von entlang des ersten Leitungsabschnitts (7) strömendem Abgas an der Ausmündestelle (11) abzuzweigen und zu der Einmündestelle (13) zurückzuführen, wobei in dem ersten Leitungsabschnitt (7) und/oder in dem zweiten Leitungsabschnitt (9) wenigstens eine Abgasstromverzögerungseinrichtung (15) angeordnet ist, die eingerichtet ist, um den entlang des ersten und/oder zweiten Leitungsabschnitt (7,9) strömenden Abgasstrom zu verzögern. Weiter betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Agglomerieren von Rußpartikeln im Abgas einer Brennkraftmaschine.

BESCHREIBUNG

Abgaspfad für eine Brennkraftmaschine, Brennkraftmaschine mit einem solchen Abgaspfad und Verfahren zum Agglomerieren von Rußpartikeln im Abgas einer Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft einen Abgaspfad für eine Brennkraftmaschine, eine Brennkraftmaschine mit einem solchen Abgaspfad und ein Verfahren zum Agglomerieren von Rußpartikeln im Abgas einer Brennkraftmaschine.

Insbesondere bei Brennkraftmaschinen, die mit einem Dieselbrennverfahren betrieben werden, besteht das Problem eines vergleichsweise hohen Anteils an Rußpartikeln im Abgas, die unter emissionsrechtlichen und gesundheitlichen Aspekten problematisch sind. Derzeit existieren für den sogenannten Offroad-Bereich, das heißt für Brennkraftmaschinen, die nicht im Rahmen des normalen Straßenverkehrs, sondern vielmehr beispielsweise im marinen Bereich, als stationäre Brennkraftmaschinen zur Energieerzeugung, zum Antrieb von Pumpen oder zu anderen Zwecken, zum Antrieb von Nutzfahrzeugen außerhalb des Straßenverkehrs, beispielsweise von Baufahrzeugen, Minenfahrzeugen, der Verteidigung dienenden Fahrzeugen oder dergleichen, Grenzwerte für die zu emittierende Partikelmasse. Diese können meist durch innermotorische Maßnahmen eingehalten werden. Wo dies nicht möglich, oder aus anderen Gründen eine Partikelfilterung erwünscht ist, werden Partikelfiltersysteme eingesetzt, die jedoch diverse Nachteile mit sich bringen. So tritt im Abgasstrang der mit einem Partikelfiltersystem ausgestatteten Brennkraftmaschine ein Druckverlust auf, der zu einem Kraftstoffmehrverbrauch führt, wobei Aschespeicherkapazität für im Filter anfallende Asche vorgehalten werden muss, wobei sich weiterhin Wartungsintervalle – insbesondere zur Aschereinigung – verkürzen, und wobei sich nicht zuletzt ein erhöhter Bauraumbedarf für die gesamte Abgasnachbehandlung ergibt. Zukünftig wird es auch im Offroad-Bereich Grenzwerte für die emittierte Partikelzahl geben, insbesondere da sich herausgestellt hat, dass gerade kleine Partikel für die Gesundheit gravierende Nachteile haben können. Dabei gilt bei gegebener Partikelmasse der einfache Zusammenhang, dass die Partikelgröße umso kleiner ist, je höher die Partikelzahl ist. Zur hinreichenden Reduzierung der Partikelzahl werden innermotorische Maßnahmen zukünftig voraussichtlich alleine kaum ausreichen. Es wäre dann nötig, auch diejenigen Offroad-

Brennkraftmaschinen mit Partikelfiltern auszustatten, bei denen dies bisher unterbleibt. Damit ergeben sich aber wiederum die bereits zuvor erwähnten Nachteile.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Abgaspfad für eine Brennkraftmaschine, eine Brennkraftmaschine mit einem solchen Abgaspfad und ein Verfahren zum Agglomerieren von Rußpartikeln im Abgas einer Brennkraftmaschine zu schaffen, wobei die genannten Nachteile nicht auftreten.

Die Aufgabe wird gelöst, indem die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche geschaffen werden. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Aufgabe wird insbesondere gelöst, indem ein Abgaspfad für eine Brennkraftmaschine geschaffen wird, welcher eine Abgasturbine aufweist. Der Abgaspfad weist außerdem einen ersten, stromaufwärts der Abgasturbine angeordneten und mit der Abgasturbine strömungstechnisch verbundenen Leitungsabschnitt auf. Begriffe wie „stromaufwärts“ und „stromabwärts“ beziehen sich dabei – soweit nichts anderes erläutert ist – auf eine bestimmungsgemäße Strömungsrichtung des Abgases in dem Abgaspfad, wenn dieser in Kombination mit einer Brennkraftmaschine als Abgaspfad für die Brennkraftmaschine im Betrieb derselben verwendet wird. Der Abgaspfad weist außerdem einen zweiten Leitungsabschnitt auf, der an einer Ausmündestelle aus dem ersten Leitungsabschnitt ausmündet, wobei er – in Strömungsrichtung eines Abgasstroms durch den ersten Leitungsabschnitt gesehen – stromaufwärts der Ausmündestelle an einer Einmündestelle in den ersten Leitungsabschnitt einmündet, wobei der zweite Leitungsabschnitt eingerichtet ist, um einen Teil von entlang des ersten Leitungsabschnitts strömendem Abgas an der Ausmündestelle abzuzweigen und zu der Einmündestelle zurückzuführen, wobei in dem ersten Leitungsabschnitt und/oder in dem zweiten Leitungsabschnitt wenigstens eine Abgasstromverzögerungseinrichtung angeordnet ist, die eingerichtet ist, um den entlang des ersten und/oder des zweiten Leitungsabschnitts strömenden Abgasstrom zu verzögern. Durch die Abgasstromverzögerungseinrichtung und den damit verzögerten Abgasstrom wird die Verweilzeit von in dem Abgasstrom enthaltenen Partikeln stromaufwärts der Abgasturbine erhöht, wobei die Partikelzahl und insbesondere die Partikelgrößenverteilung aufgrund dieser verlängerten Verweildauer durch Koagulation der Partikel beeinflusst wird. Eine Rückführung eines Teilstroms des Abgases über den zweiten Leitungsabschnitt von der Ausmündestelle zu der Einmündestelle ist dabei vorteilhaft, weil so bereits durch Agglomeration gewachsene, größere Partikel an eine Stelle stromaufwärts der

Ausmündestelle zurückgeführt werden können, wo sie an einem Ort, wo die Partikelgrößenverteilung noch zu kleineren Partikelgrößen hin verschoben ist, quasi wie Magnete oder Staubsauger für kleinere Partikel wirken und diese sammeln oder einfangen können, sodass das Partikelwachstum weiter fortschreitet, und die Partikelgrößenverteilung insgesamt noch stärker zu größeren Partikeln hin verändert wird. Kleinere Partikel diffundieren nämlich sehr viel stärker als größere, wobei die größeren Partikel eine größere Oberfläche zur Agglomeration der kleineren Partikel bieten. Die Kombination dieser Effekte miteinander ergibt die beschriebene „Staubsaugerwirkung", wobei Partikel verschiedener Größe stärker agglomerieren als dies beim isolierten Auftreten einer Partikelgröße der Fall ist. Durch den im Betrieb des Abgaspfads stromaufwärts der Abgasturbine erhöhten Druck wird zusätzlich die Konzentration der Partikel im Abgas vergrößert, sodass sich in für die Agglomeration vorteilhafter Weise kürzere Wegstrecken für Partikelkollisionen im Vergleich zu einer Anordnung stromabwärts der Abgasturbine ergeben. Weiterhin herrscht stromaufwärts der Abgasturbine im Betrieb eine erhöhte Temperatur, wodurch die Brownsche Molekularbewegung der Partikel verstärkt wird, was ebenfalls die Agglomeration fördert. Zwar kann sich die stromaufwärts der Abgasturbine erhöhte Abgasdichte negativ auswirken, wobei jedoch in Summe dieser Einfluss durch die positiven Effekte der höheren Temperatur und des höheren Drucks überkompensiert wird. Mithilfe der beiden Leitungspfade und der Abgasstromverzögerungseinrichtung ist es demnach möglich, sehr effizient die Partikelgrößenverteilung in Richtung einer höheren mittleren Partikelgröße zu verschieben und so insbesondere auch – bei gegebener Partikelmasse – die Partikelzahl zu senken. Werden nun Grenzwerte der Partikelmasse durch innermotorische Maßnahmen eingehalten, kann zugleich ein Partikelzahl-Grenzwert durch den hier vorgeschlagenen Abgaspfad eingehalten werden, ohne dass es darüber hinaus einer Partikelfilterung bedarf. Damit entfallen alle mit einer Partikelfiltereinrichtung verbundenen Nachteile für eine mit dem Abgaspfad ausgestattete Brennkraftmaschine. Es kommt noch hinzu, dass ein Teil der Rußpartikel durch die höhere Aufenthaltszeit auf dem höheren Temperaturniveau stromaufwärts der Abgasturbine bereits oxidiert werden kann, was zugleich die Partikelmasse als auch die Partikelzahl senkt.

Der zweite Leitungsabschnitt mündet insbesondere mit einem ersten Ende an der Ausmündestelle aus dem ersten Leitungsabschnitt aus, wobei er mit einem – dem ersten Ende entlang des zweiten Leitungsabschnitts strömungstechnisch gegenüberliegenden – zweiten Ende an der Einmündestelle in den ersten Leitungsabschnitt einmündet.

Dass die Abgasstromverzögerungseinrichtung eingerichtet ist, um den entlang des ersten und/oder zweiten Leitungsabschnitts strömenden Abgasstrom zu verzögern, bedeutet insbesondere, dass das Abgas aufgrund der Abgasstromverzögerungseinrichtung in dem ersten Leitungsabschnitt und/oder in dem zweiten Leitungsabschnitt länger verweilt, als nach der außerhalb – insbesondere stromaufwärts – der Abgasstromverzögerungseinrichtung vorliegenden Strömungsgeschwindigkeit sowie der Länge des ersten und/oder zweiten Leitungsabschnitts zu erwarten ist. Eine solche Verzögerung kann sich insbesondere durch Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit des Abgases und/oder durch Verlängerung des Strömungswegs in dem ersten und/oder zweiten Leitungsabschnitt, beispielsweise durch Schikanen, das heißt insbesondere strömungstechnische Einbauten, Umlenkungen und/oder Leitbleche, ergeben.

Ist die Abgasstromverzögerungseinrichtung in dem ersten Leitungsabschnitt angeordnet, ist sie bevorzugt strömungstechnisch zwischen der Einmündestelle und der Ausmündestelle angeordnet.

Die Abgasturbine kann Teil eines Abgasturboladers sein, wobei sie mit einem in einem Ladepfad einer Brennkraftmaschine angeordneten oder anordenbaren Verdichter antriebswirkverbunden ist. Es kann sich aber auch um eine Nutzturbine handeln, deren Abtriebswelle beispielsweise zur mechanischen Unterstützung einer Brennkraftmaschine mit dieser, beispielsweise mit einem einer Kurbelwelle zugeordneten Rädertrieb derselben, oder aber mit einer elektrischen Maschine zur Erzeugung elektrischer Leistung wirkverbunden sein kann. Die elektrische Maschine ist dabei bevorzugt als Generator ausgebildet.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Abgasstromverzögerungseinrichtung einen Leitungsabschnittbereich aufweist, der einen Strömungsquerschnitt aufweist, der im Vergleich zu einem – insbesondere konstanten oder gemittelten – Strömungsquerschnitt des restlichen, die Abgasstromverzögerungseinrichtung aufweisenden Leitungsabschnitts außerhalb der Abgasstromverzögerungseinrichtung, das heißt des ersten Leitungsabschnitts und/oder des zweiten Leitungsabschnitts, vergrößert ist. Insbesondere ist die Abgasstromverzögerungseinrichtung bevorzugt als ein solcher Leitungsabschnittbereich des entsprechenden Leitungsabschnitts ausgebildet. Es ist möglich, dass der Leitungsabschnittbereich und damit zugleich auch die Abgasstromverzögerungseinrichtung als durchströmter, bezüglich seines Innendurchmessers im Vergleich zu dem restlichen, die Abgasstromverzögerungseinrichtung aufweisenden

Leitungsabschnitt erweiterter Hohlraum, bevorzugt als Behälter mit einem derart erweiterten Innendurchmesser, ausgebildet ist. Durch die Erweiterung des Strömungsquerschnitts in dem Leitungsabschnittbereich kann auf baulich sehr einfache Weise eine Verzögerung des Abgasstroms erreicht werden. Eine solche, als Leitungsabschnittbereich mit vergrößertem Strömungsquerschnitt ausgebildete Abgasstromverzögerungseinrichtung ist besonders bevorzugt in dem ersten Leitungsabschnitt angeordnet.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Abgasstromverzögerungseinrichtung eine Abgasschikanestrecke aufweist. Unter einer Abgasschikanestrecke wird dabei insbesondere eine Abgasstrecke verstanden, die wenigstens einen strömungstechnischen Einbau, wenigstens ein Leitblech und/oder wenigstens eine Umlenkung aufweist, um den durch die Abgasstrecke strömenden Abgasstrom aus einer geraden Strömungsrichtung aus- und/oder wenigstens einmal – vorzugsweise um mindestens 90° – umzulenken. Hierdurch kann – im Vergleich zu der in direkter, insbesondere gerader Richtung gemessenen Länge des die Abgasstromverzögerungseinrichtung aufweisenden Leitungsabschnitts – der Strömungsweg für das Abgas in der Abgasstromverzögerungseinrichtung verlängert werden, sodass auch die Abgasströmung selbst verzögert wird. Eine solche Abgasschikanestrecke bewirkt zugleich eine engere Verweilzeitverteilung für den Abgasstrom. Vorzugsweise weist die Abgasschikanestrecke eine Mehrzahl von Umlenkungen für den Abgasstrom auf. Die Umlenkungen können dabei insbesondere durch Leitschaufeln oder Leitbleche gebildet sein. Besonders bevorzugt weist die Abgasstromverzögerungseinrichtung einen mit – insbesondere versetzt zueinander angeordneten – Leitschaufeln oder Leitblechen versehenen Behälter auf, wobei sie bevorzugt als solcher Behälter ausgebildet ist. Eine Abgasverzögerungseinrichtung mit Abgasschikanestrecke ist besonders bevorzugt in dem zweiten Leitungsabschnitt angeordnet. Insbesondere ist es möglich, dass an der Ausmündestelle aus dem Abgasstrom in dem zweiten Leitungsabschnitt abgezweigte Partikel in der Abgasstromverzögerungseinrichtung agglomerieren und größere Partikel bilden, die dann in vorteilhafter Weise an der Einmündestelle in den entlang des ersten Leitungsabschnitts fließenden Abgasstrom zurückgeführt werden, wo sie wiederum kleinere Partikel einsammeln und weiterwachsen. Die Agglomeration der Partikel kann so besonders effizient durchgeführt und entsprechend die Partikelgrößenverteilung sehr wirksam in Richtung größerer mittlerer Partikelgrößen verschoben werden. Zugleich wird die Partikelzahl gesenkt.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Abgasstromverzögerungseinrichtung einen Rohrabschnitt aufweist, dessen Innendurchmesser entlang der Längserstreckung des Rohrabschnitts variiert, wobei der Innendurchmesser des Rohrabschnitts bevorzugt abwechselnd – besonders bevorzugt periodisch – größer und kleiner wird. Der Rohrabschnitt kann dabei insbesondere eine wellenförmige Wandung, insbesondere quasi eine peristaltische Struktur, aufweisen. Durch die Variation des Innendurchmessers entstehen in dem Rohrabschnitt – örtliche und/oder zeitliche – Strömungsgeschwindigkeits- und Druckvariationen, die sich vorteilhaft auf die Agglomeration der Rußpartikel auswirken. Besonders bevorzugt ist die Innendurchmesserveränderung des Rohrabschnitts so auf eine mit dem Abgaspfad zu betreibende Brennkraftmaschine abgestimmt, dass in dem Rohrabschnitt stehende Wellen ausgebildet werden. Hierdurch kann die Agglomeration besonders effizient unterstützt werden. Vorzugsweise ist die Innendurchmesservariation des Rohrabschnitts so auf eine Zündfolge der bevorzugt unter stationären Bedingungen und insbesondere bei konstanter Drehzahl betriebenen Brennkraftmaschine abgestimmt, dass eine Stoßwellenverdichtung für die Partikelagglomeration genutzt werden kann.

Eine solche Abgasstromverzögerungseinrichtung, die einen Rohrabschnitt mit variierendem Innendurchmesser aufweist, ist besonders bevorzugt in dem ersten Leitungsabschnitt angeordnet.

Es ist insbesondere vorgesehen, dass der erste Leitungsabschnitt und/oder der zweite Leitungsabschnitt frei ist/sind von einer Rußabscheidereinrichtung, die eingerichtet ist, um Rußpartikel aus dem Abgas abzuscheiden. Einer solchen Rußabscheidereinrichtung bedarf es bei dem hier vorgeschlagenen Abgaspfad nicht mehr, da Grenzwerte für die Partikelmasse durch innermotorische Maßnahmen eingehalten werden können, wobei die Partikelzahl sehr effizient durch die spezifische Ausgestaltung des Abgaspfads und insbesondere die Abgasstromverzögerungseinrichtung innerhalb vorgesehener Grenzwerte gehalten werden kann.

Der erste Leitungsabschnitt und/oder der zweite Leitungsabschnitt weist/weisen insbesondere keine elektrische Rußabscheidereinrichtung, keine katalytische Rußabscheidereinrichtung und/oder keinen Zyklon-Abscheider auf. So kann der hier vorgeschlagene Abgaspfad besonders kostengünstig ausgestaltet werden, wobei gleichwohl die relevanten Grenzwerte für die Partikelmasse und die Partikelzahl eingehalten werden können. Dass der erste Leitungsabschnitt und/oder der zweite Leitungsabschnitt frei ist/sind von einer Rußabscheidereinrichtung bedeutet insbesondere, dass diese keine solche Rußabscheidereinrichtung aufweisen.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der erste Leitungsabschnitt an der Einmündungsstelle des zweiten Leitungsabschnitts eine Strömungsverengung aufweist, in welche der zweite Leitungsabschnitt einmündet. Auf diese Weise kann die Strömungsgeschwindigkeit des Abgasstroms am Ort der Einmündestelle in dem ersten Leitungsabschnitt erhöht und zugleich der hydrodynamische Druck gesenkt werden, sodass die Abgasströmung aus dem zweiten Leitungsabschnitt in den ersten Leitungsabschnitt durch die dann herrschenden Druckverhältnisse aktiv gefördert wird. Insbesondere kann am Ort der Einmündestelle in dem ersten Leitungsabschnitt ein Venturi-Rohr oder eine Venturi-Düse vorgesehen sein, sodass der Venturi-Effekt zur Förderung des Abgasstroms durch den zweiten Leitungsabschnitt genutzt werden kann. Der zweite Leitungsabschnitt ist bevorzugt im Übrigen frei von einer Fördereinrichtung. Vielmehr genügen die am Ort der Einmündestelle herrschenden Druckverhältnisse, insbesondere aufgrund des dort angeordneten Venturi-Rohrs oder der Venturi-Düse, zur Förderung des Abgases entlang des zweiten Leitungsabschnitts. Somit kann auf aktive Bauteile oder Komponenten wie beispielsweise eine Pumpe verzichtet werden, und der Betrieb des Abgaspfads kann rein passiv und ohne zusätzliche Energiezufuhr erfolgen. Dadurch kann der Abgaspfad besonders kostengünstig und bauraumsparend ausgestaltet sein. Der Venturi-Effekt hat den weiteren Vorteil, dass ein Druckverlust in dem Hauptabgasstrom entlang des ersten Leitungsabschnitts gering ausfällt.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Abgaspfad eine Abgasstromschalteinrichtung aufweist, die eingerichtet ist, um den zweiten Leitungsabschnitt und/oder die Abgasstromverzögerungseinrichtung parameterabhängig zu sperren oder zu umgehen. Dies trägt der Erkenntnis Rechnung, dass die verzögerte Abgasströmung ungünstig für das Transientverhalten der Abgasturbine sein kann. Um ein rasches Ansprechverhalten für die Abgasturbine bereitstellen zu können und damit die Dynamik der mit dem Abgaspfad ausgestatten Brennkraftmaschine zu steigern, ist daher bevorzugt die Abgasstromschalteinrichtung vorgesehen, durch welche die Verweilzeit in dem Abgaspfad für das Abgas stromaufwärts der Abgasturbine reduziert werden kann. Dadurch kann insbesondere in transienten Betriebszuständen das Ansprechverhalten der Abgasturbine verbessert werden. Die Abgasstromschalteinrichtung ist demnach insbesondere eingerichtet, um den zweiten Leitungsabschnitt und/oder die Abgasstromverzögerungseinrichtung in einem transienten Betriebszustand der mit dem Abgaspfad ausgestatteten Brennkraftmaschine zu sperren oder zu umgehen.

Besonders bevorzugt wird allerdings der Abgaspfad in Kombination mit einer Brennkraftmaschine verwendet, die stationär und bevorzugt in einem stationären Betriebszustand sowie bei konstanter Drehzahl betrieben wird, beispielsweise zur stationären Energieerzeugung oder zum Antrieb stationärer Pumpen oder dergleichen. In diesem Fall spielen transiente Betriebszustände und damit auch das Ansprechverhalten der Abgasturbine nur eine untergeordnete Rolle.

Die Abgasstromschalteinrichtung weist vorzugsweise wenigstens eine Ventileinrichtung und/oder wenigstens eine Abgasklappe auf. Besonders bevorzugt ist es möglich, dass die Abgasstromschalteinrichtung ein 4/2-Wege-Kugelventil oder ein 4/2-Wegeventil aufweist, durch welches bedarfsgerecht der zweite Leitungsabschnitt und/oder die Abgasstromverzögerungseinrichtung mit Abgas beaufschlagt oder umgangen werden kann/können.

Die Aufgabe wird auch gelöst, indem eine Brennkraftmaschine geschaffen wird, welche einen Abgaspfad nach einem der zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiele aufweist. Dabei verwirklichen sich in Zusammenhang mit der Brennkraftmaschine insbesondere die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Abgaspfad erläutert wurden. Die Brennkraftmaschine ist bevorzugt eingerichtet für einen Offroad-Betrieb, insbesondere für den Antrieb zumindest hauptsächlich nicht im Straßenverkehr genutzter Nutzfahrzeuge, beispielsweise Baumaschinen, Minenfahrzeuge wie Muldenkipper, oder dergleichen. Die Brennkraftmaschine kann auch in einem Schienenfahrzeug eingesetzt werden. Alternativ ist die Brennkraftmaschine bevorzugt eingerichtet zur Anwendung im maritimen Bereich, insbesondere zum Antrieb eines Wasserfahrzeugs, insbesondere eines Schiffs, oder eines amphibischen Fahrzeugs. Die Brennkraftmaschine ist ganz besonders bevorzugt eingerichtet für eine stationäre Anwendung, insbesondere zur stationären Energieerzeugung oder zum Antrieb stationärer Fördereinrichtungen, beispielsweise Pumpen oder dergleichen. Bevorzugt wird die Brennkraftmaschine in einem stationären Betriebspunkt, insbesondere mit konstanter Drehzahl – beispielsweise zum Antrieb einer elektrischen Synchronmaschine –, betrieben. Vorzugsweise ist die Brennkraftmaschine als Hubkolbenmaschine ausgebildet.

Es ist insbesondere vorgesehen, dass der erste Leitungsabschnitt stromabwärts eines einem Brennraum der Brennkraftmaschine zugeordneten Auslassventils angeordnet ist, wobei damit

zugleich auch die Einmündestelle und die Ausmündestelle stromabwärts des Auslassventils angeordnet sind. Besonders bevorzugt ist der erste Leitungsabschnitt stromabwärts eines Abgaskrümmers der Brennkraftmaschine angeordnet, insbesondere unmittelbar stromabwärts des Auslassventils und/oder des Abgaskrümmers. Der erste Leitungsabschnitt verbindet bevorzugt das Auslassventil oder den Abgaskrümmer mit der Abgasturbine.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Brennkraftmaschine frei ist von einem Partikelfilter. Insbesondere bedeutet dies, dass die Brennkraftmaschine keinen Partikelfilter aufweist oder dass der Brennkraftmaschine kein Partikelfilter zugeordnet ist. Die Brennkraftmaschine kann bevorzugt ohne Partikelfilter und damit auch ohne die mit einem solchen Partikelfilter verbundene Nachteile betrieben werden, wobei gleichwohl vorbestimmte Grenzwerte für die Emission von Partikeln, insbesondere Grenzwerte für die Partikelmasse und auch für die Partikelzahl, eingehalten werden können.

Die Aufgabe wird schließlich auch gelöst, indem ein Verfahren zum Agglomerieren von Rußpartikeln im Abgas einer Brennkraftmaschine geschaffen wird, welches folgende Schritte aufweist: Ein Abgasstrom wird entlang eines stromaufwärts einer Abgasturbine angeordneten ersten Leitungsabschnitts eines Abgaspfads geleitet. Ein Teilstrom wird aus dem Abgasstrom an einer Ausmündungsstelle des ersten Leitungsabschnitts abgezweigt. Der Teilstrom wird über einen zweiten Leitungsabschnitt von der Ausmündestelle zu einer – entlang des ersten Leitungsabschnitts in Strömungsrichtung des Abgasstroms gesehen – stromaufwärts der Ausmündestelle angeordneten Einmündestelle in den ersten Leitungsabschnitt zurückgeführt. Der zurückgeführte Teilstrom wird in den Abgasstrom an der Einmündestelle eingebracht, und der Abgasstrom in dem ersten Leitungsabschnitt und/oder der Teilstrom in dem zweiten Leitungsabschnitt wird/werden verzögert.

Bevorzugt wird im Rahmen des Verfahrens ein Abgaspfad nach einem der zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiele verwendet, oder das Verfahren wird bei einer Brennkraftmaschine gemäß einem der zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiele angewandt. In Zusammenhang mit dem Verfahren ergeben sich insbesondere die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Abgaspfad und der Brennkraftmaschine erläutert wurden.

Besonders bevorzugt wird der Teilstrom entlang des zweiten Leitungsabschnitts durch einen Venturi-Effekt gefördert, wobei der Venturi-Effekt vorzugsweise am Ort der Einmündestelle,

insbesondere mittels eines Venturi-Rohrs oder einer Venturi-Düse in dem ersten Leitungsabschnitt, allgemein aber mit einer Strömungsverengung des ersten Leitungsabschnitts, in welche der zweite Leitungsabschnitt einmündet, erzeugt wird. Es bedarf dabei insbesondere keiner zusätzlichen Förderung des Teilstroms. Somit wird der Teilstrom vorzugsweise ausschließlich durch den Venturi-Effekt entlang des zweiten Leitungsabschnitts gefördert.

Die Beschreibung des Verfahrens einerseits und des Abgaspfads sowie der Brennkraftmaschine andererseits sind komplementär zueinander zu verstehen. Insbesondere sind Merkmale des Abgaspfads oder der Brennkraftmaschine, welche explizit oder implizit in Zusammenhang mit dem Verfahren beschrieben wurden, bevorzugt einzeln oder miteinander kombiniert Merkmale eines bevorzugten Ausführungsbeispiels des Abgaspfads sowie der Brennkraftmaschine. In analoger Weise sind Verfahrensschritte, die explizit oder implizit in Zusammenhang mit dem Abgaspfad oder der Brennkraftmaschine beschrieben wurden, bevorzugt einzeln oder miteinander kombiniert Schritte einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens. Der Abgaspfad und/oder die Brennkraftmaschine zeichnet/zeichnen sich vorzugsweise durch wenigstens ein Merkmal aus, welches durch wenigstens einen Verfahrensschritt einer erfindungsgemäßen oder bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens bedingt ist. Das Verfahren weist vorzugsweise wenigstens einen Verfahrensschritt auf, der durch wenigstens ein Merkmal eines erfindungsgemäßen oder bevorzugten Ausführungsbeispiels des Abgaspfads und/oder der Brennkraftmaschine bedingt ist.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine mit einem Abgaspfad;

Figur 2 eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Abgaspfads;

Figur 3 eine schematische Darstellung eines dritten Ausführungsbeispiels eines Abgaspfads, und

Figur 4 eine Detaildarstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels eines Abgaspfads.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine 1, die bevorzugt als Hubkolbenmaschine ausgebildet ist, und die einen Abgaspfad 3 aufweist. Der Abgaspfad 3 weist eine Abgasturbine 5 auf, die beispielsweise als Nutzturbine ausgebildet oder die Turbine eines Abgasturboladers sein kann, wobei sie in letztem Fall bevorzugt insbesondere mit einem in einem nicht dargestellten Ladepfad der Brennkraftmaschine 1 angeordneten Verdichter antriebswirkverbunden ist. Stromaufwärts der Abgasturbine 5 – in Strömungsrichtung des Abgases entlang des Abgaspfads 3 von der Brennkraftmaschine 1 zu der Abgasturbine 5 gesehen – ist ein erster Leitungsabschnitt 7 angeordnet, der mit der Abgasturbine 5 strömungstechnisch verbunden ist. Der Abgaspfad 3 weist außerdem einen zweiten Leitungsabschnitt 9 auf, der an einer Ausmündestelle 11 aus dem ersten Leitungsabschnitt 7 ausmündet und stromaufwärts – in Richtung des Abgasstroms durch den ersten Leitungsabschnitt 7 gesehen – der Ausmündestelle 11 an einer Einmündestelle 13 in den ersten Leitungsabschnitt 7 einmündet. Dabei ist der zweite Leitungsabschnitt 9 eingerichtet, um einen Teil des entlang des ersten Leitungsabschnitts 7 strömenden Abgases an der Ausmündestelle 11 abzuzweigen und zurück zu der Einmündestelle 13 zu führen.

In dem ersten Leitungsabschnitt 7 und/oder in dem zweiten Leitungsabschnitt 9 ist eine Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 angeordnet. Bei dem hier dargestellten, ersten Ausführungsbeispiel des Abgaspfads 3 ist die Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 in dem ersten Leitungsabschnitt 7 angeordnet. Die Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 ist eingerichtet, um den entlang des ersten Leitungsabschnitts 7 – und/oder des zweiten Leitungsabschnitts 9 – strömenden Abgasstrom zu verzögern. Durch die Verzögerung des Abgasstroms wird die Abgasströmung beruhigt und die Raumgeschwindigkeit des Abgases sinkt. Rußpartikel können sich unter diesen Bedingungen in der Gasphase agglomerieren, wobei am Ort der Ausmündestelle 11 vorliegende, größere Partikel entlang des zweiten Leitungsabschnitts 9 zu der Einmündestelle 13 zurückgeführt und dem Abgasstrom, der entlang des ersten Leitungsabschnitts 7 strömt, wieder zugeführt werden können, wobei solche größeren Abgaspartikel kleinere Abgaspartikel effektiv einfangen und so besonders effizient dazu beitragen, dass die Partikelgrößenverteilung im Abgas zu höheren Partikelgrößen hin verschoben wird. Stromaufwärts der Abgasturbine 5 herrschen dabei – sowohl hinsichtlich des Drucks als auch hinsichtlich der Temperatur – besonders geeignete Bedingungen für die Partikelagglomeration. Während ein geltender Grenzwert für die Partikelmasse im Abgas durch innermotorische Maßnahmen eingehalten werden kann, kann ein für die Partikelzahl geltender Grenzwert insbesondere mit der hier vorgestellten Ausgestaltung des Abgaspfads 3 durch

Agglomeration von Partikeln eingehalten werden. Die Brennkraftmaschine 1 benötigt daher in ihrem Abgasnachbehandlungssystem keinen Partikelfilter.

Die Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 weist bevorzugt einen Leitungsabschnittsbereich 17 mit im Vergleich zu dem restlichen, die Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 aufweisenden Leitungsabschnitt 7, 9 vergrößertem Strömungsquerschnitt auf. Bei dem in Figur 1 dargestellten, ersten Ausführungsbeispiel ist die Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 insbesondere als Behälter mit einem bezüglich seines Innendurchmessers im Vergleich zu dem restlichen ersten Leitungsabschnitt 7 vergrößerten Innendurchmesser ausgebildet.

Der erste Leitungsabschnitt 7 und/oder der zweite Leitungsabschnitt 9, besonders bevorzugt beide Leitungsabschnitte 7, 9, sind frei von jeglicher Rußabscheidereinrichtung, die eingerichtet ist, um Rußpartikel aus dem Abgas abzuscheiden. Insbesondere weist zumindest einer der Leitungsabschnitte 7, 9, vorzugsweise beide Leitungsabschnitt 7, 9, keine elektrische oder katalytische Rußabscheidereinrichtung sowie auch keinen Zyklon-Abscheider auf. Auch die Brennkraftmaschine 1 insgesamt weist bevorzugt keine Rußabscheidereinrichtung auf.

Der erste Leitungsabschnitt 7 ist bevorzugt stromabwärts eines einem Brennraum der Brennkraftmaschine 1 zugeordneten Auslassventils und hier insbesondere stromabwärts eines Abgaskrümmers 19 angeordnet, wobei er sich insbesondere zwischen dem Abgaskrümmer 19 und der Abgasturbine 5 erstreckt. Auch die Einmündestelle 13 sowie die Ausmündestelle 11 sind stromabwärts des Auslassventils und hier insbesondere stromabwärts des Abgaskrümmers 19 angeordnet.

Wie bereits angesprochen, ist die Brennkraftmaschine 1 bevorzugt frei von einem Partikelfilter, sie weist also keinen Partikelfilter auf.

Im Betrieb der Brennkraftmaschine 1 wird vorzugsweise ein Verfahren zum Agglomerieren von Rußpartikeln im Abgas der Brennkraftmaschine 1 durchgeführt, wobei der Abgasstrom entlang des ersten Leitungsabschnitts 7 geleitet wird, wobei ein Teilstrom aus dem Abgasstrom an der Ausmündestelle 11 des ersten Leitungsabschnitts 7 abgezweigt und über den zweiten Leitungsabschnitt 9 von der Ausmündestelle 11 zu der Einmündestelle 13 zurückgeführt wird, wobei der Teilstrom dort in den Abgasstrom eingebracht wird. Dabei wird der Abgasstrom – bei

dem hier dargestellten ersten Ausführungsbeispiel in dem ersten Leitungsabschnitt 7 – durch die Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 verzögert.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Abgaspfads 3 für die Brennkraftmaschine 1. Gleiche und funktionsgleiche Elemente sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die vorangegangene Beschreibung verwiesen wird. Dabei ist die Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 hier in dem zweiten Leitungsabschnitt 9 angeordnet, wobei sie eine Abgasschikanestrecke 21 mit einer Mehrzahl von Umlenkungen 23, von denen der besseren Übersichtlichkeit wegen hier nur eine mit einem Bezugszeichen versehen ist, für den Abgasstrom aufweist. Die Umlenkungen 23 werden vorzugsweise durch Leitbleche 25 bewirkt, die versetzt zueinander entlang der Abgasschikanestrecke 21 angeordnet ist. Insbesondere ist hier die Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 als Behälter mit Leitblechen 25 ausgebildet. Wie schematisch angedeutet, können die Partikel aufgrund der Verzögerung des Abgasstroms und der längeren Verweilzeit in der Abgasschikanestrecke 21 agglomerieren, sodass dem in dem ersten Leitungsabschnitt 7 strömenden Abgasstrom im Bereich der Einmündestelle 13 größere Partikel zur effizienteren Agglomeration wieder zugeführt werden können.

In Figur 2 ist ebenfalls dargestellt, dass der erste Leitungsabschnitt 7 an der Einmündestelle 13 des zweiten Leitungsabschnitts 9 eine Strömungsverengung 27 aufweist, in welche der zweite Leitungsabschnitt 9 einmündet. Die Strömungsverengung 27 ist vorzugsweise Teil eines Venturi-Rohrs oder einer Venturi-Düse 29. Durch den derart im Bereich der Einmündestelle 13 erzeugten Unterdruck kann der entlang des zweiten Leitungsabschnitts 9 zurückgeförderte Teilstrom des Abgases gefördert werden. Es bedarf keiner weiteren Fördereinrichtung in dem zweiten Leitungsabschnitt 9, weswegen dieser auch bevorzugt frei ist von einer weiteren Fördereinrichtung, wobei er also insbesondere keine Fördereinrichtung, insbesondere keine Pumpe oder dergleichen, aufweist.

Die Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 ist hier insbesondere als Beruhigungsbehälter mit den Leitschaufeln 25 ausgebildet und sorgt für eine engere Verweilzeitverteilung des Abgases. Dies wirkt sich besonders günstig auf die Partikelagglomeration aus.

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines dritten Ausführungsbeispiels des Abgaspfads 3 für die Brennkraftmaschine 1. Gleiche und funktionsgleiche Elemente sind mit gleichen

Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die vorangegangene Beschreibung verweisen. Der einfacheren Darstellung wegen ist hier nur der erste Leitungsabschnitt 7 dargestellt, welcher die Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 aufweist. Der nicht dargestellte, zweite Leitungsabschnitt 9 ist hier – wie beispielsweise auch bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 – insbesondere als Umgehungspfad um die Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 ausgebildet, sodass auf diese Ausgestaltung hier nicht näher eingegangen werden muss. Die Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 weist hier einen Rohrabschnitt 31 auf, dessen Innendurchmesser entlang der Längserstreckung des Rohrabschnitts 31 variiert, wobei er insbesondere abwechselnd, ganz besonders bevorzugt periodisch, größer und wieder kleiner wird. Dadurch entstehen in vorteilhafter Weise insbesondere periodische Strömungsgeschwindigkeits- und Druckvariationen in dem Rohrabschnitt 31, die sehr effektiv zur Partikelagglomeration beitragen.

Es zeigt sich auch noch, dass die Anordnung der Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 sowie der Leitungsabschnitte 7, 9 stromaufwärts der Abgasturbine 5 insoweit besonders vorteilhaft ist, als bei der dort herrschenden, sehr hohen Temperatur bereits Rußpartikel verbrannt werden können, was zusätzlich zu dem Effekt der Partikelagglomeration sowohl die Partikelzahl als auch die Partikelmasse senkt.

Fig. 4 zeigt eine Detaildarstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels des Abgaspfads 3 für die Brennkraftmaschine 1. Gleiche und funktionsgleiche Elemente sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die vorangegangene Beschreibung verwiesen wird. Dabei ist hier dargestellt, dass der Abgaspfad 3 eine Abgasstromschalteinrichtung 33 aufweisen kann, die eingerichtet ist, um den zweiten Leitungsabschnitt 9 und/oder – wie hier dargestellt – die Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 parameterabhängig – insbesondere abhängig von einem Betriebs- oder Lastpunkt der Brennkraftmaschine 1 – zu sperren oder zu umgehen, hier insbesondere zu umgehen. Dabei weist die Abgasstromschalteinrichtung 33 bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel eine Ventileinrichtung 35 auf, die als 4/2-Wege-Kugelventil ausgebildet ist. Dabei kann in einem der beiden Funktionszustände dieses Ventils der Abgasstrom durch die Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 geleitet werden, was hier durch durchgezogene Linien innerhalb der Ventileinrichtung 35 dargestellt ist, wobei er in einem zweiten Funktionszustand der Ventileinrichtung 35 unter Umgehung der Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 an dieser vorbeigeleitet werden kann, was hier durch gestrichelte Linien innerhalb der Ventileinrichtung 35 dargestellt ist.

Alternativ zu dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel kann die Abgasstromschalteinrichtung 33 auch wenigstens eine Abgasklappe aufweisen, oder sie kann eine Ventileinrichtung 35 aufweisen, die als 4/2-Wegeventil – beispielsweise mit linearem Stellweg – ausgebildet ist.

Die Abgasstromschalteinrichtung 33 dient insbesondere dazu, das Ansprechverhalten der Abgasturbine 5 in transienten Betriebszuständen der Brennkraftmaschine 1 zu verbessern, indem der zweite Leitungsabschnitt 9 und/oder die Abgasstromverzögerungseinrichtung 15 umgangen wird/werden, wodurch die Strömungsgeschwindigkeit am Ort der Abgasturbine 5 vergrößert wird. Auf diese Weise können Dynamikeinbußen für die Brennkraftmaschine 1 vermieden werden.

Besonders bevorzugt wird der Abgaspfad 3 allerdings eingesetzt bei einer Brennkraftmaschine 1, die im stationären Betrieb verwendet und insbesondere in einem stationären Lastpunkt und vorzugsweise bei konstanter Drehzahl betrieben wird. Transiente Betriebszustände sind dann seltene Ereignisse, sodass die Vorteile des Abgaspfads 3 nahezu während der gesamten Betriebszeit der Brennkraftmaschine 1 vollständig zum Tragen kommen.

Insgesamt zeigt sich, dass mit dem hier vorgeschlagenen Abgaspfad 3, der Brennkraftmaschine 1 und dem Verfahren zum Agglomerieren von Rußpartikeln im Abgas der Brennkraftmaschine 1 eine Reduktion der Partikelzahl erfolgen kann, sodass auch zukünftig insbesondere im Offroad-Bereich geltende Grenzwerte für die Partikelzahl ohne Partikelfilter und damit ohne die mit diesem verbundenen Nachteile eingehalten werden können. Grenzwerte für die Partikelmasse können dabei vorzugsweise durch innermotorische Maßnahmen der Brennkraftmaschine 1 eingehalten werden.

ANSPRÜCHE

1. Abgaspfad (3) für eine Brennkraftmaschine (1), mit
   - einer Abgasturbine (5),
   - einem ersten, stromaufwärts der Abgasturbine (5) angeordneten und mit der Abgasturbine (5) strömungstechnisch verbundenen Leitungsabschnitt (7), und mit
   - einem zweiten Leitungsabschnitt (9), der an einer Ausmündestelle (11) aus dem ersten Leitungsabschnitt (7) ausmündet, und
   - stromaufwärts – in Richtung eines Abgasstroms durch den ersten Leitungsabschnitt (7) gesehen – der Ausmündestelle (11) an einer Einmündestelle (13) in den ersten Leitungsabschnitt (7) einmündet, wobei
   - der zweite Leitungsabschnitt (9) eingerichtet ist, um einen Teil von entlang des ersten Leitungsabschnitts (7) strömendem Abgas an der Ausmündestelle (11) abzuzweigen und zu der Einmündestelle (13) zurückzuführen, wobei
   - in dem ersten Leitungsabschnitt (7) und/oder in dem zweiten Leitungsabschnitt (9) wenigstens eine Abgasstromverzögerungseinrichtung (15) angeordnet ist, die eingerichtet ist, um den entlang des ersten und/oder zweiten Leitungsabschnitt (7,9) strömenden Abgasstrom zu verzögern.

2. Abgaspfad (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abgasstromverzögerungseinrichtung (15) einen Leitungsabschnittbereich (17) mit im Vergleich zu dem restlichen, die Abgasstromverzögerungseinrichtung (15) aufweisenden Leitungsabschnitt (7,9) vergrößertem Strömungsquerschnitt aufweist.

3. Abgaspfad (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abgasstromverzögerungseinrichtung (15) eine Abgasschikanestrecke (21), vorzugsweise mit einer Mehrzahl von Umlenkungen (23) für den Abgasstrom, aufweist.

4. Abgaspfad (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abgasstromverzögerungseinrichtung (15) einen Rohrabschnitt (31) aufweist, dessen Innendurchmesser – entlang der Längserstreckung des Rohrabschnitts (31) gesehen – variiert, insbesondere abwechselnd – vorzugsweise periodisch – größer und kleiner wird.

5. Abgaspfad (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Leitungsabschnitt (7) an der Einmündestelle (13) des zweiten Leitungsabschnitts (9) eine Strömungsverengung (27) aufweist, in welche der zweite Leitungsabschnitt (9) einmündet.

6. Abgaspfad (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abgaspfad (3) eine Abgasstromschalteinrichtung (33) aufweist, die eingerichtet ist, um den zweiten Leitungsabschnitt (9) und/oder die Abgasstromverzögerungseinrichtung (15) parameterabhängig zu sperren oder zu umgehen, wobei die Abgasstromschalteinrichtung (33) vorzugsweise wenigstens eine Ventileinrichtung (35) und/oder wenigstens eine Abgasklappe aufweist.

7. Brennkraftmaschine (1), mit einem Abgaspfad (3) nach einem der Ansprüche 1 bis 6.

8. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brennkraftmaschine (1) frei ist von einem Partikelfilter.

9. Verfahren zum Agglomerieren von Rußpartikeln im Abgas einer Brennkraftmaschine (1), mit folgenden Schritten:

- Leiten eines Abgasstroms entlang eines stromaufwärts einer Abgasturbine (5) angeordneten ersten Leitungsabschnitts (7) eines Abgaspfads (3);
- Abzweigen eines Teilstroms aus dem Abgasstrom an einer Ausmündestelle (11) des ersten Leitungsabschnitts (7);
- Rückführen des Teilstroms über einen zweiten Leitungsabschnitt (9) von der Ausmündestelle (11) zu einer – entlang des ersten Leitungsabschnitts (7) in Strömungsrichtung des Abgasstroms gesehen – stromaufwärts der Ausmündestelle (11) angeordneten Einmündestelle (13) in den ersten Leitungsabschnitt (7);
- Einbringen des zurückgeführten Teilstroms in den Abgasstrom an der Einmündestelle (13), und
- Verzögern des Abgasstroms in dem ersten Leitungsabschnitt (7) und/oder des Teilstroms in dem zweiten Leitungsabschnitt (9).

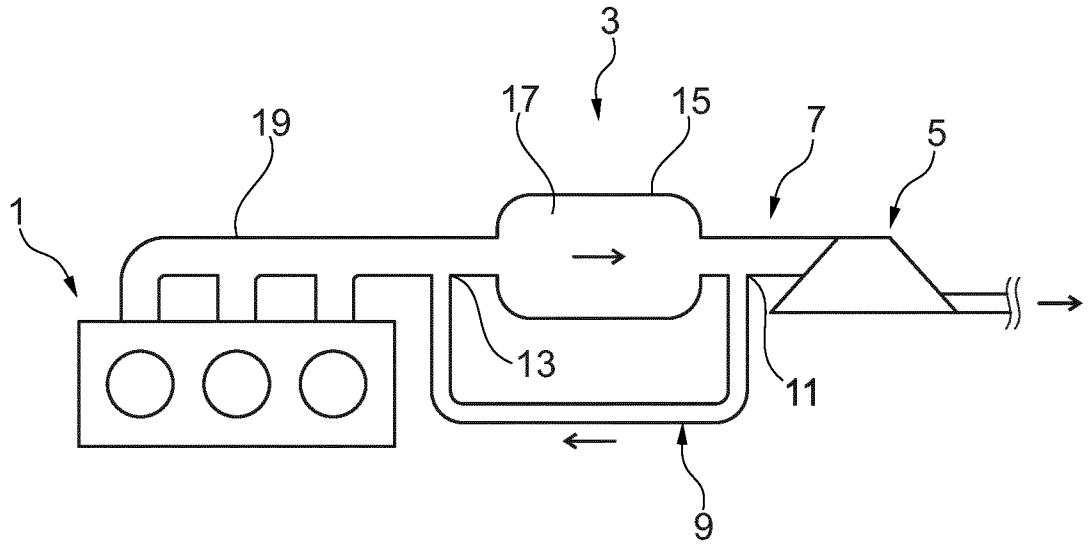


Fig. 1

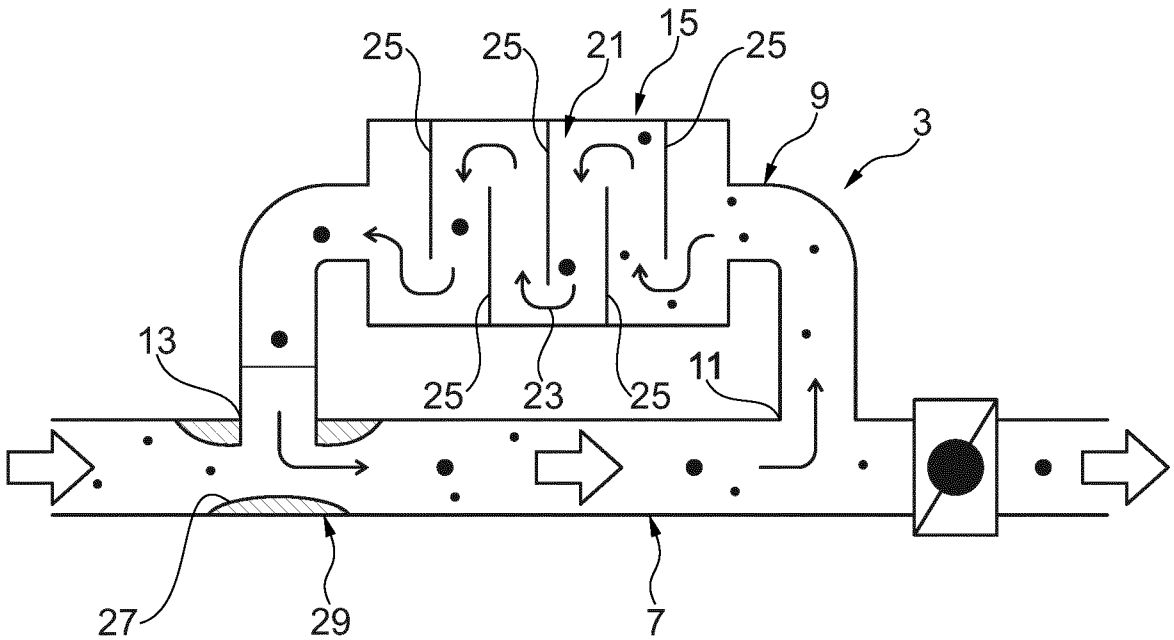


Fig. 2

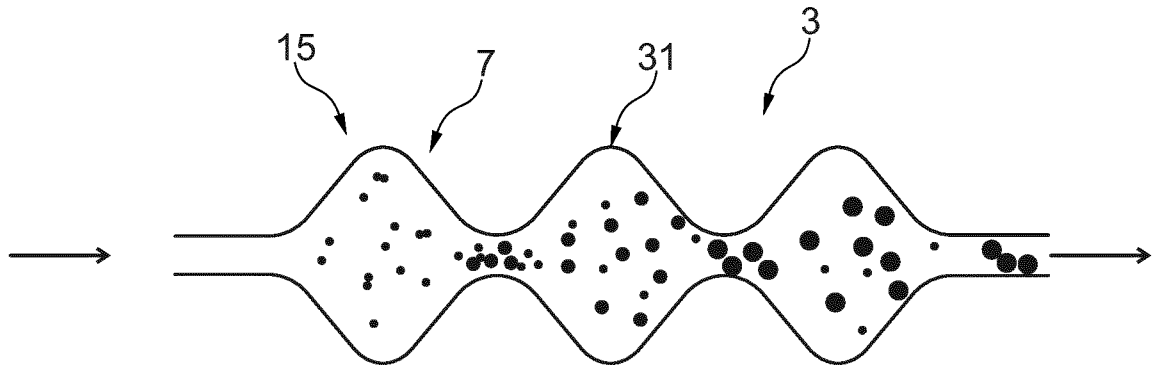


Fig. 3

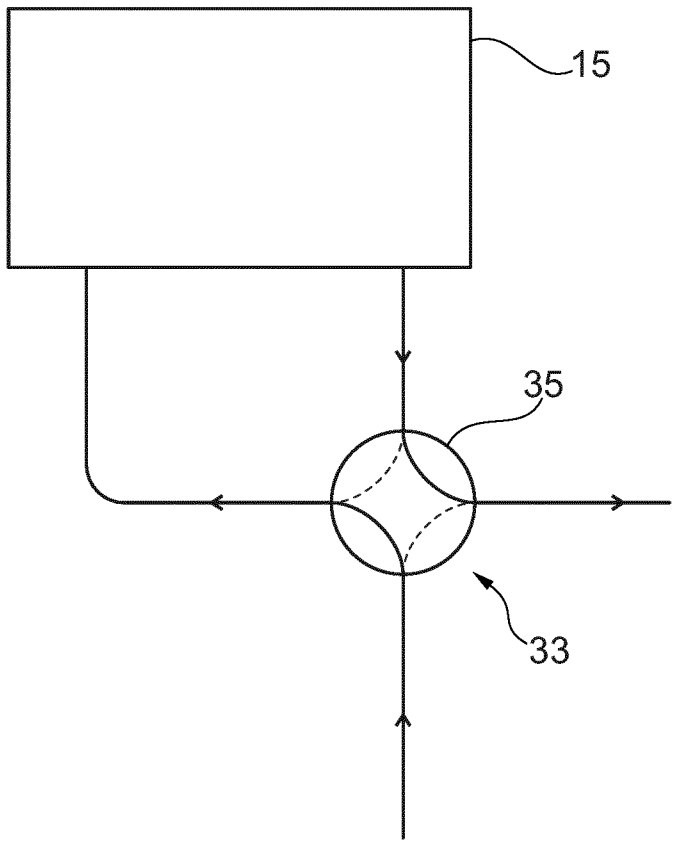


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/081811

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F01N3/021 F01N13/08 F01N3/02
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2015/217230 A1 (REICHERT DIRK [DE] ET AL) 6 August 2015 (2015-08-06) figures 1,5 page 4, paragraph 28	1-8
A	FR 2 981 983 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]) 3 May 2013 (2013-05-03) figure 1	1-9
A	DE 10 2015 205465 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 29 September 2016 (2016-09-29) figure 1	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
22 February 2018	02/03/2018

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Harf, Julien

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2017/081811

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2015217230 A1	06-08-2015	CN 106170612 A	30-11-2016
		DE 102015202091 A1	06-08-2015
		EP 3102800 A1	14-12-2016
		GB 2525069 A	14-10-2015
		JP 2017506304 A	02-03-2017
		KR 20160118294 A	11-10-2016
		US 2015217230 A1	06-08-2015
		WO 2015118330 A1	13-08-2015
FR 2981983 A1	03-05-2013	NONE	
DE 102015205465 A1	29-09-2016	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/081811

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F01N3/021 F01N13/08 F01N3/02
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F01N

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2015/217230 A1 (REICHERT DIRK [DE] ET AL) 6. August 2015 (2015-08-06) Abbildungen 1,5 Seite 4, Absatz 28	1-8
A	FR 2 981 983 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]) 3. Mai 2013 (2013-05-03) Abbildung 1	1-9
A	DE 10 2015 205465 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 29. September 2016 (2016-09-29) Abbildung 1	1-9

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
22. Februar 2018	02/03/2018

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Harf, Julien

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/081811

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2015217230 A1	06-08-2015	CN 106170612 A	30-11-2016
		DE 102015202091 A1	06-08-2015
		EP 3102800 A1	14-12-2016
		GB 2525069 A	14-10-2015
		JP 2017506304 A	02-03-2017
		KR 20160118294 A	11-10-2016
		US 2015217230 A1	06-08-2015
		WO 2015118330 A1	13-08-2015
FR 2981983 A1	03-05-2013	KEINE	
DE 102015205465 A1	29-09-2016	KEINE	