

(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
6. Oktober 2016 (06.10.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/155870 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F02M 21/02 (2006.01) *F02B 19/12* (2006.01)
F02B 19/10 (2006.01) *F02D 19/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/000494

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. März 2016 (22.03.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 206 074.8 2. April 2015 (02.04.2015) DE

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

(72) Erfinder: BOYDE, Jan; Bodenseestrasse 4/1, 88048
Friedrichshafen (DE). GORSE, Philippe; Linzgaustraße
32, 88048 Friedrichshafen (DE). PRUNNBAUER, Jan,
Gerrit; Wanntental 6, 88131 Lindau (DE). SCHWARTE,
Joachim; Amthausstr. 39, 88085 Langenargen (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, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
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.

(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)

(54) Title: INTERNAL COMBUSTION ENGINE AND METHOD FOR OPERATING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung : BRENNKRAFTMASCHINE UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER BRENNKRAFTMASCHINE

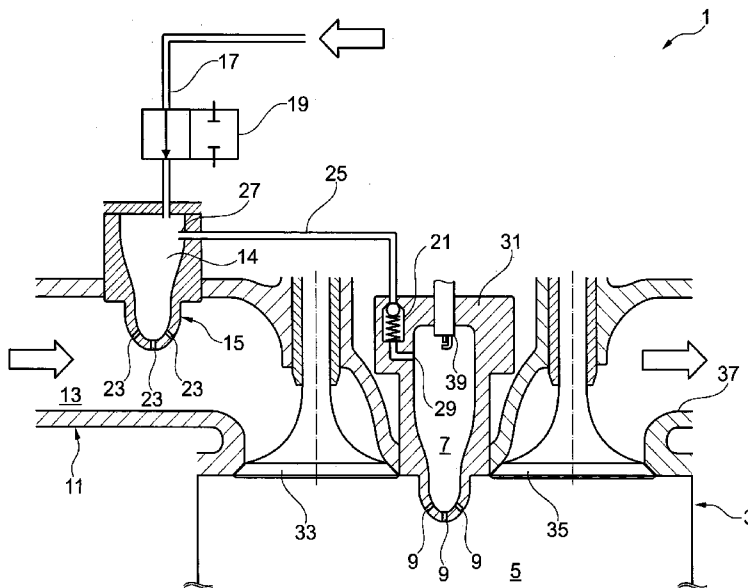


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to an internal combustion engine (1) comprising at least one combustion chamber (3) having a main chamber (5) and a prechamber (7), wherein the prechamber (7) is in fluid connection with the main chamber (5) via at least one bore (9), wherein the at least one combustion chamber (3) is connected to a charging path (11) for the supply of a combustion air-fuel mixture into the combustion chamber (3) via the charging path (11), wherein a fuel intermixing region (14) is arranged in a section (13) of the charging path (11) separately assigned to the combustion chamber (3), which fuel intermixing region is in fluid connection with the charging path (11) on one side and with a fuel line (17) on the other side for the supply of fuel into the fuel intermixing region (14) via a controllable fuel valve (19). The internal combustion engine (1) is characterised in that the prechamber (7) and the fuel intermixing region (14) are in fluid connection with one another via a check valve (21).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Es wird eine Brennkraftmaschine (1), mit wenigstens einem Brennraum (3), der eine Hauptkammer (5) und eine Vorkammer (7) aufweist, wobei die Vorkammer (7) über wenigstens eine Bohrung (9) mit der Hauptkammer (5) in Fluidverbindung ist, wobei der wenigstens eine Brennraum (3) mit einem Ladepfad (11) zur Zuführung von einem Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch durch den Ladepfad (11) in den Brennraum (3) verbunden ist, wobei in einem dem Brennraum (3) separat zugeordneten Abschnitt (13) des Ladepfads (11) ein Brennstoffzumischbereich (14) angeordnet ist, der einerseits mit dem Ladepfad (11) und andererseits mit einer Brennstoffleitung (17) zur Zuführung von Brennstoff in den Brennstoffzumischbereich (14) über ein ansteuerbares Brennstoffventil (19) in Fluidverbindung ist, vorgeschlagen. Die Brennkraftmaschine (1) zeichnet sich dadurch aus, dass die Vorkammer (7) und der Brennstoffzumischbereich (14) über ein Rückschlagventil (21) miteinander in Fluidverbindung sind.

BESCHREIBUNG

5 **Brennkraftmaschine und Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine**

Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine sowie ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine.

- 10 Bei Brennkraftmaschinen, die mit einer sogenannten Mehrpunkteinspritzung (Multi-Point-Injection – MPI) betrieben werden, ist das Zündverhalten typischerweise gekoppelt an einen Restgasgehalt in einem Brennraum der Brennkraftmaschine sowie ein globales Verbrennungsluft-Brennstoff-Verhältnis, das auch als Lambdawert bezeichnet wird. Besonders kritisch sind dabei Bereiche anzusehen, die in direkter Nachbarschaft um eine Zündquelle herum
- 15 lokalisiert sind. Um auch stark abgemagerte Gemische in dem Brennraum zünden zu können, wird dieser typischerweise in eine Hauptkammer und eine Vorkammer unterteilt, wobei in dem kleineren Vorkammervolumen eine sichere Zündung gewährleistet werden kann, und wobei aus der Vorkammer in die Hauptkammer übertretende Fackelstrahlen eine sichere Entflammung des Gemischs auch in dem größeren Volumen der Hauptkammer gewährleisten können. Bei
- 20 gasgespülten Vorkammern, die direkt mit einer Brenngasversorgung verbunden sind, müssen Zusatzkomponenten vorgesehen werden, beispielsweise ein zusätzlicher Gaskompressor, ein Gaskühler, sowie eine Brenngasversorgung für jeden Brennraum. Es ist auch möglich, dass eine gasgespülte Vorkammer mit einer Hochdruckseite eines Mehrpunkt-Einspritzsystems gekoppelt ist, wobei die Kopplung demnach stromaufwärts eines ansteuerbaren Ventils zur Mehrpunkt-
- 25 Einspritzung verbunden ist. Somit ist aber die in die Vorkammer gespülte Menge an Brennstoff abhängig von dem Versorgungsdruck in der Brennstoffleitung stromaufwärts des ansteuerbaren Ventils der Mehrpunkt-Einspritzung.

- Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Brennkraftmaschine sowie ein Verfahren zum
- 30 Betreiben einer Brennkraftmaschine zu schaffen, wobei die genannten Nachteile nicht auftreten.

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

Die Aufgabe wird insbesondere gelöst, in dem eine Brennkraftmaschine geschaffen wird, die

5 wenigstens einen Brennraum aufweist, der mit einem Ladepfad zur Zuführung von einem Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch durch den Ladepfad in den Brennraum verbunden ist, wobei in einem dem Brennraum separat zugeordneten Abschnitt des Ladepfads ein Brennstoffzumischbereich vorzugsweise eine Brennstoffzumischkammer, angeordnet ist. Der Brennstoffzumischbereich ist einerseits mit dem Ladepfad und andererseits mit einer

10 Brennstoffleitung in Fluidverbindung, wobei die Brennstoffleitung eingerichtet ist zur Zuführung von Brennstoff in den Brennstoffzumischbereich über ein ansteuerbares Ventil. Der Brennraum weist eine Hauptkammer und eine Vorkammer auf, wobei die Vorkammer über wenigstens eine Bohrung mit der Hauptkammer in Fluidverbindung ist. Die Brennkraftmaschine zeichnet sich dadurch aus, dass die Vorkammer und der Brennstoffzumischbereich über ein Rückschlagventil

15 miteinander in Fluidverbindung sind. Dass der Brennstoffzumischbereich in einem dem Brennraum separat zugeordneten Abschnitt des Ladepfads angeordnet ist, bedeutet insbesondere, dass er stromabwärts einer Abzweigung angeordnet ist, in welcher sich der Ladepfad auf zu verschiedenen Brennräumen führende Saugrohrabschnitte aufteilt, wenn die Brennkraftmaschine mehr als einen Brennraum aufweist. Dies bedeutet bevorzugt, dass die Brennkraftmaschine

20 eingerichtet ist zum Betrieb mit einer Mehrpunkteinspritzung (Multi-Point-Injection – MPI), wobei in dem Fall, in welchem die Brennkraftmaschine eine Mehrzahl von Brennräumen aufweist, für jeden Brennraum separat und brennräumindividuell eine Brennstoffmenge in den dem Brennraum separat zugeordneten Abschnitt des Ladepfads eindosiert werden kann. Der Brennstoffzumischbereich ist mit der Brennstoffleitung über ein ansteuerbares Brennstoffventil

25 in Fluidverbindung, sodass er insbesondere stromabwärts des ansteuerbaren Ventils angeordnet ist. Somit ist der Brennstoffzumischbereich auf einer Niederdruckseite der Einrichtung zur Mehrpunkteinspritzung angeordnet, nämlich stromabwärts des ansteuerbaren Ventils. Dadurch dass die Vorkammer über das Rückschlagventil mit dem Brennstoffzumischbereich in Fluidverbindung ist, steht sie nicht mit einem Hochdruckbereich der Einrichtung zur

30 Mehrpunkteinspritzung, sondern vielmehr mit einem Niederdruckbereich stromabwärts des ansteuerbaren Ventils in Fluidverbindung. Die Brennkraftmaschine weist Vorteile gegenüber dem Stand der Technik auf. Insbesondere ist die gespülte Brennstoffmenge unabhängig von dem

hochdruckseitigen Versorgungsdruck der Mehrpunkteinspritz-Einrichtung, insbesondere dem hochdruckseitigen Versorgungsdruck in der Brennstoffleitung. Vielmehr hängt die gespülte Menge direkt von einer Druckdifferenz zwischen dem Druck in dem Brennstoffzumischbereich einerseits und dem momentanen Druck in der Vorkammer andererseits ab. In Abhängigkeit von diesen Druckverhältnissen kann nämlich das Rückschlagventil öffnen oder schließen, wobei insbesondere eine automatische Spülung der Vorkammer in Abhängigkeit der momentan herrschenden Druckverhältnisse möglich ist. Dabei bedarf es keiner Zusatzkomponenten, insbesondere keines zusätzlichen Gaskompressors, Gaskühlers oder einer zusätzlichen Gasversorgung für die Vorkammer, weil diese direkt aus dem Brennstoffzumischbereich mit Brennstoff versorgt wird. Es ist somit möglich, das Verhalten einer gasgespülten Vorkammer mithilfe eines einfachen Rückschlagventils zu verwirklichen.

Unter dem Begriff „Rückschlagventil“ wird hier und im Folgenden insbesondere eine Ventileinrichtung verstanden, die abhängig von einem über der Ventileinrichtung abfallenden Differenzdruck in eine Offenstellung und in eine Schließstellung verlagerbar ist. Die Ventileinrichtung öffnet und schließt somit in Abhängigkeit von den Druckverhältnissen einerseits stromaufwärts und andererseits stromabwärts der Ventileinrichtung. Bei einer besonders einfachen und kostengünstigen Ausgestaltung des Rückschlagventils ist vorgesehen, dass ein Ventilelement oder Ventilkörper unter Vorspannung gegen einen Ventilsitz gedrängt wird, wobei die Ventileinrichtung in diesem Fall dann öffnet, wenn ein über ihr abfallender Differenzdruck die auf das Ventilelement oder den Ventilkörper wirkende Vorspannkraft in Öffnungsrichtung übersteigt.

Der Brennstoffzumischbereich ist vorzugsweise als Brennstoffzumischkammer ausgebildet. Diese weist insbesondere eine Kammerwandung auf, die zumindest bereichsweise in den dem Ladepfad separat zugeordneten Abschnitt hereinragt, wobei die Wandung der Brennstoffzumischkammer vorzugsweise durch wenigstens eine Verbindungsbohrung durchbrochen ist, durch welche der separat zugeordnete Abschnitt des Ladepfads mit der Brennstoffzumischkammer in Fluidverbindung ist.

30

Die hier vorgeschlagene Brennkraftmaschine verbindet in kostengünstiger Weise die Vorteile einer Mehrpunkteinspritzung mit einer gasgespülten Vorkammer und ermöglicht somit

insbesondere den Einsatz einer gespülten Vorkammer auch in Bereichen, in denen dies bisher nicht üblich ist, insbesondere im Bereich mariner Anwendungen, Anwendungen der Brennkraftmaschine zum Antrieb von Schienenfahrzeugen, Anwendungen im Konstruktions- und Industriebereich, Anwendungen zur Förderung von Rohstoffen, insbesondere zur Förderung von Öl und/oder Gas, und zahlreiche andere Anwendungen. Dabei erweist es sich insbesondere in sicherheitssensiblen Bereichen, beispielsweise im marinen Bereich, als vorteilhaft, dass bei der hier vorgeschlagenen Brennkraftmaschine kein brennbares Gemisch mehr um den Motor geführt werden muss. Weiterhin kann der Motor mithilfe der gespülten Vorkammer mager gefahren werden. Die bewirkt wiederum eine Vergrößerung einer zulässigen Spreizung eines Lambda-Werts, also eines Verbrennungsluft-Brennstoff-Verhältnisses, was letztlich zu einer verbesserten Lastannahme und insbesondere zu einem verbesserten Transientverhalten der Brennkraftmaschine führt. Durch die Abmagerung in stationären Zykluspunkten können auch Stickoxid-Emissionen der Brennkraftmaschine gesenkt werden. Durch die zündverstärkende Wirkung der Vorkammer steigt der Motorwirkungsgrad. Außerdem weist die Brennkraftmaschine ein verbessertes Zündverhalten auf, sodass sich insbesondere Zündaussetzer im Leerlauf wirksam vermeiden lassen.

Es wird ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine bevorzugt, das sich dadurch auszeichnet, dass ein Verbindungspfad vorgesehen ist, der an einem ersten Ende von zwei Enden des Verbindungspfads in den Brennstoffzumischbereich mündet, wobei er an einem zweiten Ende der zwei Enden in die Vorkammer mündet. Das Rückschlagventil ist in dem Verbindungspfad angeordnet. Der Verbindungspfad stellt dabei eine besonders einfache Realisierung einer Fluidverbindung zwischen dem Brennstoffzumischbereich und der Vorkammer dar. Es ist möglich, dass der Verbindungspfad als Leitung realisiert ist, insbesondere als Rohrleitung oder als Schlauch. Der Verbindungspfad kann zumindest bereichsweise oder auch vollständig auch als Kanal und insbesondere zumindest bereichsweise als Bohrung ausgebildet sein, wobei diese zumindest teilweise in einem Zylinderkopf der Brennkraftmaschine ausgebildet sein kann. Weiterhin ist es möglich, dass der Verbindungspfad zumindest bereichsweise in eine Wandung der Vorkammer integriert ist. Besonders bevorzugt ist es möglich, dass das Rückschlagventil in eine Wandung der Vorkammer und/oder in einen Zylinderkopf der Brennkraftmaschine integriert ist. Dies ermöglicht eine ebenso einfache wie kostengünstige Herstellung der Brennkraftmaschine.

Der Verbindungspfad weist vorzugsweise genau zwei Enden auf, nämlich das erste Ende und das zweite Ende, wobei die beiden Enden einander gegenüberliegend an dem Verbindungspfad vorgesehen sind. Brenngas strömt also insbesondere entlang des Verbindungspfads von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende. Das Rückschlagventil ist insbesondere zwischen dem ersten Ende und dem zweiten Ende des Verbindungspfads angeordnet.

Bevorzugt ist das Rückschlagventil in eine Schließstellung vorgespannt, wobei es insbesondere derart in dem Verbindungspfad orientiert ist, dass ein in dem Bereich des ersten Endes des Verbindungspfads, also stromaufwärts des Rückschlagventils, herrschender Druck dazu tendiert, das Rückschlagventil aus seiner Schließstellung in eine Offenstellung zu drängen, wobei umgekehrt ein im Bereich des zweiten Endes des Verbindungspfads herrschender Druck dazu tendiert, das Rückschlagventil zusätzlich zu der Vorspannkraft in seine Schließstellung zu drängen. Das Rückschlagventil öffnet demnach bevorzugt dann, wenn der Druck in der Vorkammer kleiner ist als der Druck in dem Brennstoffzumischbereich, wobei ein Differenzdruck zwischen dem Druck in dem Brennstoffzumischbereich und dem Druck in der Vorkammer insbesondere größer sein muss als ein vorbestimmter Grenz-Differenzdruck, der insbesondere durch die Vorspannung des Rückschlagventils bestimmt ist.

Dabei zeigt sich, dass der Druck in dem Brennstoffzumischbereich vorzugsweise zumindest im Wesentlichen einem Ladedruck entspricht, da der Brennstoffzumischbereich – vorzugsweise über wenigstens eine Bohrung – mit dem Ladepfad in Fluidverbindung ist. Der Druck in der Vorkammer hängt dagegen im Wesentlichen von dem Brennraumdruck ab und ist somit insbesondere eine Funktion des Kurbelwinkels der Brennkraftmaschine, wobei er periodisch mit der Bewegung eines Kolbens in dem Brennraum – bei einer als Hubkolbenmaschine ausgebildeten Brennkraftmaschine – variiert. Ferner hängt der Differenzdruck insbesondere auch von einer Stellung eines Einlassventils und/oder eines Auslassventils ab, wobei das Einlassventil die Hauptkammer des Brennraums mit dem Ladepfad verbindet, wobei das Auslassventil die Hauptkammer des Brennraums mit einem Abgaspfad verbindet.

Es wird ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine bevorzugt, das sich dadurch auszeichnet, dass der Brennraum mit dem Ladepfad über wenigstens ein Einlassventil

fluidverbunden ist. Dabei bestimmen insbesondere Steuerzeiten für das Einlassventil einen Verlauf des Differenzdrucks und somit ein Spülverhalten der Vorkammer. Es ist möglich, über eine Einstellung der Steuerzeiten für das Einlassventil eine optimale Spülung der Vorkammer zu verwirklichen. Besonders bevorzugt ist der Brennraum mit dem Ladepfad über wenigstens ein variabel ansteuerbares Einlassventil, insbesondere über ein Einlassventil mit vollvariablem Ventiltrieb, fluidverbunden. Somit ist es möglich, insbesondere betriebspunktabhängig die Steuerzeiten des Einlassventils zu variieren und so jederzeit und insbesondere in jedem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine eine optimale Spülung der Vorkammer über den Differenzdruck zu verwirklichen.

10

Bei einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der Brennraum mit dem Ladepfad über zwei Einlassventile, insbesondere über zwei variabel ansteuerbare Einlassventile, fluidverbunden.

15 Es wird auch ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine bevorzugt, dass sich dadurch auszeichnet, dass das ansteuerbare Brennstoffventil als Dosierventil zur Mehrpunkteinspritzung ausgebildet ist. Dabei verwirklichen sich die bereits zuvor erwähnten Vorteile.

Es wird auch ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine bevorzugt, das sich dadurch auszeichnet, dass die Brennstoffleitung, welche zur Zuführung von Brennstoff in den Brennstoffzumischbereich über das ansteuerbare Brennstoffventil vorgesehen ist, in den Verbindungspfad mündet. Dies stellt eine besonders einfache sowie kostengünstig herzustellende Ausgestaltung der Brennkraftmaschine dar, weil der Verbindungspfad gleichsam mit zwei Funktionen genutzt werden kann. Zum einen dient er bereichsweise zur Zuführung von reinem Brennstoff aus der Brennstoffleitung in den Brennstoffzumischbereich, insbesondere über sein erstes, in den Brennstoffzumischbereich mündendes Ende, zum anderen dient er – wie zuvor bereits beschrieben – der Fluidverbindung zwischen dem Brennstoffzumischbereich und der Vorkammer. Es ist insbesondere vorgesehen, dass die Brennstoffleitung stromabwärts des ansteuerbaren Brennstoffventils in den Verbindungspfad mündet. Der Verbindungspfad ist dann nicht mit dem stromaufwärts des ansteuerbaren Brennstoffventils angeordneten Hochdruckbereich der Brennstoffleitung, sondern mit dem stromabwärts des ansteuerbaren Ventils angeordneten Niederdruckbereich verbunden. Somit ist er insbesondere auf der Niederdruckseite der

20
25
30

Einrichtung zur Mehrpunkteinspritzung angeordnet. Auf diese Weise ist es ohne weiteres und ohne zusätzliche Maßnahmen möglich, die Brennstoffleitung stromabwärts des ansteuerbaren Brennstoffventils – also niederdruckseitig – mit dem Verbindungspfad zu verbinden. Es kann insbesondere eine Mündung in den Brennstoffzumischbereich eingespart werden, sodass

5 entsprechende Fertigungsschritte und damit verbundene Herstellkosten entfallen. Vielmehr dient das erste Ende des Verbindungspfads sowohl zur Zuführung von Brennstoff in den Brennstoffzumischbereich, als auch zur Zuführung von Brennstoff oder einem fetten Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch aus dem Brennstoffzumischbereich über den Verbindungspfad und das Rückschlagventil in die Vorkammer.

10

Die Brennkraftmaschine ist vorzugsweise als Hubkolbenmotor ausgebildet. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel dient die Brennkraftmaschine dem Antrieb insbesondere schwerer Land- oder Wasserfahrzeuge, beispielsweise von Minenfahrzeugen, Zügen, wobei die Brennkraftmaschine in einer Lokomotive oder einem Triebwagen eingesetzt wird, oder von

15 Schiffen. Auch ein Einsatz der Brennkraftmaschine zum Antrieb eines der Verteidigung dienenden Fahrzeugs, beispielsweise eines Panzers, ist möglich. Ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine wird vorzugsweise auch stationär, beispielsweise zur stationären Energieversorgung im Notstrombetrieb, Dauerlastbetrieb oder Spitzenlastbetrieb eingesetzt, wobei die Brennkraftmaschine in diesem Fall vorzugsweise einen Generator antreibt. Auch eine

20 stationäre Anwendung der Brennkraftmaschine zum Antrieb von Hilfsaggregaten, beispielsweise von Feuerlöschpumpen auf Bohrinseln, ist möglich. Weiterhin ist eine Anwendung der Brennkraftmaschine im Bereich der Förderung fossiler Roh- und insbesondere Brennstoffe, beispielsweise Öl und/oder Gas, möglich. Auch eine Verwendung der Brennkraftmaschine im industriellen Bereich oder im Konstruktionsbereich, beispielsweise in einer Konstruktions- oder

25 Baumaschine, zum Beispiel in einem Kran oder einem Bagger, ist möglich. Die Brennkraftmaschine ist vorzugsweise als Ottomotor, als Gasmotor zum Betrieb mit Erdgas, Biogas, Sondergas oder einem anderen geeigneten Gas, oder als Zweistoffmotor zum Betrieb mit zwei verschiedenen Brennstoffen, insbesondere als Dual-Fuel-Motor oder als Bi-Fuel-Motor, ausgebildet. Insbesondere wenn die Brennkraftmaschine als Gasmotor ausgebildet ist, ist sie für

30 den Einsatz in einem Blockheizkraftwerk zur stationären Energieerzeugung geeignet.

Ganz besonders wird ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine bevorzugt, das als Gasmotor, insbesondere als Magergasmotor ausgebildet ist. Dabei verwirklichen sich in besonderer Weise die Vorteile der gespülten Vorkammer zur sicheren Zündung eines auch stark abgemagerten Gemischs in der Hauptkammer des Brennraums.

5

Die Aufgabe wird auch gelöst, indem ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine geschaffen wird, bei dem wenigstens einem in eine Hauptkammer und eine Vorkammer unterteilten Brennraum in einem Ansaugtakt ein Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch über einen Ladepfad zugeführt wird, wobei das Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch in einem dem
10 Brennraum separat zugeordneten Abschnitt des Ladepfads erzeugt wird, indem ein in dem separaten Abschnitt angeordneter Brennstoffzumischbereich – insbesondere einer Brennstoffzumischkammer – Brennstoff – besonders bevorzugt reiner Brennstoff – durch eine Brennstoffleitung über ein ansteuerbares Brennstoffventil zugeführt wird, wobei Brennstoff aus dem Brennstoffzumischbereich direkt in die Vorkammer geführt wird, wenn der Druck in der
15 Vorkammer kleiner ist als der Druck in dem Brennstoffzumischbereich. Dabei verwirklichen sich in Zusammenhang mit dem Verfahren insbesondere die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit der Brennkraftmaschine erläutert wurden.

Dass der Brennstoff aus dem Brennstoffzumischbereich direkt in die Vorkammer geführt wird
20 bedeutet insbesondere, dass der Brennstoff aus dem Brennstoffzumischbereich ohne Umweg über den Ladepfad in die Vorkammer geführt wird. Vielmehr wird dem Brennstoff über einen zwischen dem Brennstoffzumischbereich und der Vorkammer bestehenden Verbindungspfad direkt abhängig von dem Druck in der Vorkammer einerseits und dem Druck in dem Brennstoffzumischbereich andererseits in die Vorkammer geführt.

25

Da der Brennstoffzumischbereich mit dem Ladepfad in Fluidverbindung ist, ist es möglich, dass teilweise auch Verbrennungsluft in den Brennstoffzumischbereich gelangt. Es ist also möglich, dass sich in diesem ein – dann allerdings im Vergleich zu dem Ladepfad der Hauptkammer fettes – Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch bildet. In diesem Fall wird der Vorkammer aus dem
30 Brennstoffzumischbereich direkt dieses Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch zugeführt.

Der Druck in dem Brennstoffzumischbereich entspricht vorzugsweise – bis auf gegebenenfalls strömungsbedingte Druckunterschiede aufgrund einer Bohrung zwischen dem Brennstoffzumischbereich, insbesondere der Brennstoffzumischkammer, und dem Ladepfad – dem Ladedruck in dem Ladepfad. Der Druck in der Vorkammer ist dagegen – wie bereits
5 erläutert – insbesondere eine Funktion des Kurbelwinkels der Brennkraftmaschine.

Es wird eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass Brennstoff – oder gegebenenfalls ein Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch – aus dem Brennstoffzumischbereich direkt in die Vorkammer geführt wird, wenn ein Differenzdruck
10 zwischen dem Druck in dem Brennstoffzumischbereich und dem Druck in der Vorkammer einen vorbestimmten Wert überschreitet. Dabei ist der vorbestimmte Wert – insbesondere ein Grenz-Differenzdruck – vorzugsweise bestimmt durch die Vorspannung eines Rückschlagventils, welches in dem Verbindungspfad zwischen dem Brennstoffzumischbereich und der Vorkammer angeordnet ist.

Es wird eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass ein Einlassventil, welches die Hauptkammer des Brennraums mit dem Ladepfad verbindet, mit einer Miller-Steuerzeit angesteuert wird. Dies bedeutet insbesondere, dass das Einlassventil entweder vor Erreichen eines unteren Totpunkts des in dem Brennraum verlagerbaren Kolbens in einem
20 Ansaugtakt geschlossen wird, oder dass das Einlassventil jedenfalls so früh geschlossen wird, dass der Druck in dem Brennraum aufgrund gasdynamischer Effekte auch nach Schließen des Einlassventils noch in einem bestimmten Kurbelwinkelbereich unter einem Niveau des Ladedrucks bleibt, bevor er kompressionsbedingt über den Ladedruck hinaus ansteigt. Aufgrund der wirksamen Gasdynamik ist es möglich, dass dies noch dann der Fall ist, wenn das
25 Einlassventil genau beim Erreichen des unteren Totpunkts des Kolbens schließt. Dies liegt an der Trägheit der Gasströmung in dem Ladepfad einerseits und in dem Brennraum andererseits. Daher gilt auch ein Schließen des Einlassventils bei Erreichen des unteren Totpunkts noch als Miller-Steuerzeit. Das Ansteuern des Einlassventils, insbesondere eines Einlassventils mit vollvariablem Ventiltrieb, mit einer Miller-Steuerzeit erlaubt die Ausbildung einer
30 Druckdifferenz zwischen dem Brennstoffzumischbereich und der Vorkammer, welche ein besonderes effizientes Spülen der Vorkammer mit reinem Brennstoff, insbesondere Brenngas, oder fettem Gemisch aus dem Brennstoffzumischbereich erlaubt.

Schließlich wird eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass die Brennkraftmaschine mit Gas betrieben wird. Bevorzugt wird die Brennkraftmaschine mit einem methanhaltigen Gas, insbesondere Erdgas, Deponiegas, Biogas, Sondergas, Produktgas aus der Holzvergasung, oder einem anderen geeigneten Gas, als Brennstoff betrieben. Insbesondere solche Brennkraftmaschinen werden häufig mit einem stark abgemagerten Brennstoff-Verbrennungsluft-Gemisch betrieben, wobei sich die Vorteile des Verfahrens in besonderer Weise verwirklichen.

Es zeigt sich, dass durch die Brennkraftmaschine und das Verfahren das Verhalten einer gasgespülten Vorkammer mithilfe eines einfachen Rückschlagventils realisiert werden kann. Hierfür wird reines Brenngas oder fettes Gemisch stromabwärts eines Mehrpunkt-Einspritzventils, nämlich des ansteuerbaren Brennstoffventils, durch den Verbindungspfad, in welchem das Rückschlagventil untergebracht ist, in die Vorkammer geführt. Wird eine Miller-Steuerzeit für das wenigstens ein Einlassventil verwirklicht, entsteht eine besonders effektive Druckdifferenz zwischen dem Brennstoffzumischbereich einerseits und der Vorkammer andererseits. Daraufhin öffnet das Rückschlagventil, und die Vorkammer wird mit reinem Brenngas oder fettem Gemisch aus dem Brennstoffzumischbereich gespült.

Die Beschreibung der Brennkraftmaschine einerseits und des Verfahrens andererseits sind komplementär zueinander zu verstehen. Merkmale der Brennkraftmaschine, die explizit oder implizit in Zusammenhang mit dem Verfahren erläutert wurden, sind bevorzugt einzeln oder miteinander kombiniert Merkmale eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Brennkraftmaschine. Verfahrensschritte, die explizit oder implizit in Zusammenhang mit der Brennkraftmaschine erläutert wurden, sind bevorzugt einzeln oder miteinander kombiniert Schritte einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens. Dieses zeichnet sich bevorzugt durch wenigstens einen Verfahrensschritt aus, der durch wenigstens ein Merkmal der Brennkraftmaschine bedingt ist. Die Brennkraftmaschine zeichnet sich bevorzugt durch wenigstens ein Merkmal aus, welches durch wenigstens einen Schritt einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens bedingt ist.

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

Figur 1 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine;

Figur 2 eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine, und

Figur 3 eine schematische, diagrammatische Darstellung einer Ausführungsform des Verfahrens.

10 **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine
1. Diese weist einen Brennraum 3 auf, der unterteilt ist in eine Hauptkammer 5 und eine
Vorkammer 7. Dabei sind die Hauptkammer 5 und die Vorkammer 7 über Bohrungen 9
miteinander in Fluidverbindung. Die Vorkammer 7 dient dabei der sicheren Zündung eines
fetteren Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemischs in dem vergleichsweise kleinen
15 Vorkammervolumen, wobei Fackelstrahlen über die Bohrungen 9 in die Hauptkammer 5
eintreten, wenn das Gemisch in der Vorkammer 7 gezündet wird, wobei ein in der Hauptkammer
5 vorliegendes, magereres Verbrennungsluft-Brenngas-Gemisch durch die Fackelstrahlen sicher
und vollständig entflammt wird. Auf diese Weise ist es insbesondere auch bei großvolumigen
Hauptkammern 5 möglich, stark abgemagerte Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemische zu
20 entflammen.

Der Brennraum 3, insbesondere die Hauptkammer 5, ist mit einem Ladepfad 11 fluidverbunden,
wobei der Ladepfad 11 eingerichtet ist zur Zuführung eines Verbrennungsluft-Brennstoff-
Gemischs durch den Ladepfad 11 in den Brennraum 3, insbesondere in die Hauptkammer 5.

25 In einem dem Brennraum 3 separat zugeordneten Abschnitt 13 des Ladepfads 11 ist ein
Brennstoffzumischbereich 14, hier eine Brennstoffzumischkammer 15, angeordnet, der einerseits
mit dem Ladepfad 11 und andererseits mit einer Brennstoffleitung 17 in Fluidverbindung ist,
wobei die Brennstoffleitung 17 eingerichtet ist zur Zuführung von insbesondere reinem
30 Brennstoff in den Brennstoffzumischbereich 14 über ein ansteuerbares Brennstoffventil 19.

Zur Spülung der Vorkammer 7 mit reinem Brennstoff oder mit einem fetten Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch ist die Vorkammer 7 mit der Brennstoffzumischkammer 15 über ein Rückschlagventil 21 in Fluidverbindung. Es ist so in sehr einfacher Weise möglich, eine gasgespülte Vorkammer 7 zu realisieren. Es bedarf hierfür insbesondere keiner

5 Zusatzkomponenten, ganz besonders keines separaten Gaskompressors, Gaskühlers und/oder einer separaten Gasversorgung für die Vorkammer 7. Weiterhin ist das Spülverhalten der Vorkammer nicht abhängig von einem Versorgungsdruck in der Brennstoffleitung 17 stromaufwärts des ansteuerbaren Brennstoffventils 19.

10 Die Brennkraftmaschine 1 ist vorzugsweise als Hubkolbenmotor ausgebildet, wobei in der Hauptkammer 5 des Brennraums 3 ein in Figur 1 nicht dargestellter Kolben verlagerbar aufgenommen ist. Die Brennkraftmaschine 1 weist vorzugsweise eine Mehrzahl von Brennräumen 3 auf, insbesondere vier Zylinder, sechs Zylinder, acht Zylinder, zehn Zylinder, zwölf Zylinder, sechzehn Zylinder, achtzehn Zylinder, zwanzig Zylinder oder vierundzwanzig
15 Zylinder. Auch eine kleinere, größere oder andere Anzahl von Zylindern ist möglich. Weiterhin ist es möglich, dass die Brennkraftmaschine 1 als Reihenmotor, als V-Motor, als W-Motor, oder mit einer anderen Konfiguration der Brennräume 3 ausgebildet ist.

Insbesondere ist für die Brennkraftmaschine 1 eine Mehrpunkteinspritzung vorgesehen, wobei
20 bevorzugt das ansteuerbare Brennstoffventil 19 als Dosierventil für eine Mehrpunkteinspritzung (Multi-Point-Injection – MPI) ausgebildet ist. Dies bedeutet, dass die Eindosierung von Brennstoff in den dem Brennraum 3 separat zugeordneten Abschnitt 13 des Ladepfads 11 stromabwärts einer Abzweigung eines gemeinsamen Ladepfads in separate Saugrohrabschnitte zu den einzelnen Zylindern und somit zylinderindividuell erfolgt. Damit kann jedem Zylinder
25 eine individuell eingestellte Brennstoffmasse durch zylinderindividuelle Ansteuerung der den Zylindern zugeordneten, ansteuerbaren Brennstoffventile 19 zugeführt werden.

Die Brennstoffzumischkammer 15 ist mit dem Ladepfad 11 und insbesondere dem Abschnitt 13 über eine Mehrzahl von Zumischbohrungen 23 fluidverbunden. Dabei ist es möglich, dass
30 Ladeluft aus dem Ladepfad 11 durch die Zumischbohrungen 23 in die Brennstoffzumischkammer 15 gelangt, sodass in dieser kein reiner Brennstoff, sondern vielmehr ein allerdings sehr fettes Brennstoff-Verbrennungsluft-Gemisch vorliegt. In diesem Fall gelangt

bei einer Spülung der Vorkammer 7 dieses fette Gemisch über das Rückschlagventil 21 in die Vorkammer 7.

Es ist ein Verbindungspfad 25 vorgesehen, der an einem ersten Ende 27 von zwei Enden in die Brennstoffzumischkammer 15 mündet, wobei er an einem zweiten Ende 29 der zwei Enden 27, 29 in die Vorkammer 7 mündet. Das Rückschlagventil 21 ist in dem Verbindungspfad 25 angeordnet. Dabei zeigt sich, dass der Verbindungspfad 25 hier teilweise in eine Wandung 31 der Vorkammer 7 integriert ist. Dabei ist insbesondere das Rückschlagventil 21 in die Wandung 31 integriert.

Es zeigt sich auch, dass das Rückschlagventil 21 in eine Schließstellung vorgespannt ist, wobei es derart zwischen dem ersten Ende 27 und dem zweiten Ende 29 in dem Verbindungspfad 25 angeordnet ist, dass ein Druck stromaufwärts des Rückschlagventils 21 auf der Seite des ersten Endes 27 in dem Verbindungspfad 25 das Rückschlagventil 21 tendenziell aus seiner Schließstellung in eine Offenstellung drängt, wobei ein Druck stromabwärts des Rückschlagventils 21 auf der Seite des zweiten Endes 29 in dem Verbindungspfad 25 das Rückschlagventil 21 zusätzlich zu der Vorspannkraft in seine Schließstellung beaufschlagt.

Das Rückschlagventil 21 öffnet, wenn der Druck in der Vorkammer 7 kleiner ist als der Druck in der Brennstoffzumischkammer 15, insbesondere wenn ein Differenzdruck zwischen dem Druck in der Brennstoffzumischkammer 15 und dem Druck in der Vorkammer 7 größer ist als ein vorbestimmter Grenz-Differenzdruck, der insbesondere durch die geometrische Ausgestaltung wirksamer Flächen des Rückschlagventils 21 und der Vorspannung desselben in seine Schließstellung bestimmt ist. Daher kann das Spülverhalten der Vorkammer 7 insbesondere durch geometrische Ausgestaltung des Rückschlagventils 21 sowie Einstellen der Vorspannung desselben eingestellt beziehungsweise abgestimmt werden.

Der Brennraum 3, insbesondere die Hauptkammer 5, ist mit dem Ladepfad 11 über ein Einlassventil 33 fluidverbunden. Das Einlassventil 33 weist vorzugsweise einen in Figur 1 nicht dargestellten, vollvariablen Ventiltrieb auf, sodass Steuerzeiten für das Einlassventil 33 insbesondere betriebspunktabhängig variiert werden können. Der Brennraum 3, insbesondere die Hauptkammer 5, ist außerdem über ein Auslassventil 35 mit einem Abgaspfad 37

fluidverbunden. Insbesondere über eine Ansteuerung des Einlassventils 33, bevorzugt aber auch über eine Ansteuerung des Auslassventils 35, ist es möglich, die Druckverhältnisse in dem Brennraum 3 insbesondere in Verhältnis zu dem Druck in dem Ladepfad 11 zu beeinflussen und so das Spülverhalten der Vorkammer 7 – insbesondere betriebspunktabhängig – zu beeinflussen.

5

Die Brennkraftmaschine 1 ist vorzugsweise als Gasmotor, insbesondere als Magergasmotor ausgebildet. Dabei wird ein Brenngas, vorzugsweise ein methanhaltiges Brenngas, als Brennstoff verwendet.

10 Es zeigt sich noch, dass in der Vorkammer 7 eine Zündeinrichtung 39 zur Zündung des Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemischs angeordnet ist. Dabei kann es sich beispielsweise um eine elektrische Funkenzündkerze, einer Korona-Zündkerze, eine Laser-Zündkerze oder eine andere geeignete Zündkerze oder Zündeinrichtung handeln.

15 **Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine 1. Gleiche und funktionsgleiche Elemente sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die vorangegangene Beschreibung verwiesen wird. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist insbesondere vorgesehen, dass die Brennstoffleitung 17 stromabwärts des ansteuerbaren Brennstoffventils 19, als auf der Niederdruckseite der Einrichtung zur
20 Mehrpunkteinspritzung, in den Verbindungspfad 25 mündet. Dies stellt eine besonders einfache Ausgestaltung der Brennkraftmaschine 1 dar, weil der Verbindungspfad 25 auf diese Weise zumindest bereichsweise zwei Funktionen aufweisen kann, nämlich zum einen die Zuführung von reinem Brennstoff über die Brennstoffleitung 17 und letztlich das erste Ende 27 in den Brennstoffzumischbereich 14, und zum anderen die Zuführung von reinem Brennstoff oder
25 einem fetten Verbrennungs-Brennluft-Gemisch aus dem Brennstoffzumischbereich 14 über den Verbindungspfad 25 und das Rückschlagventil 21 in die Vorkammer 7, wie bereits zuvor erläutert. Es bedarf in diesem Fall nur einer Bohrung oder Öffnung – abgesehen von den Zumischbohrungen 23 –, nämlich des ersten Endes 27 des Verbindungspfad 25, durch welches einerseits dem Brennstoffzumischbereich 14 reiner Brennstoff zugeführt werden kann, und durch
30 welches andererseits reiner Brennstoff oder fettes Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch aus dem Brennstoffzumischbereich 14 in die Vorkammer 7 strömen kann. Dies vereinfacht die Ausgestaltung des Brennstoffzumischbereichs 14 und insbesondere der

Brennstoffzumischkammer 15, wobei insbesondere Herstellungs- oder Fertigungsschritte zur Einbringung einer weiteren Bohrung oder zum Vorsehen einer weiteren Leitung entfallen können.

- 5 **Fig. 3** zeigt eine schematische, diagrammatische Darstellung einer Ausführungsform des Verfahrens. Dabei zeigt Figur 3a) eine Auftragung eines Drucks p gegen einen Kurbelwinkel einer Kurbelwelle der Brennkraftmaschine 1 in Grad Kurbelwinkel ($^{\circ}\text{KW}$). Als durchgezogene, erste Kurve K1 ist hier der Druckverlauf in dem Brennraum 3, insbesondere in der Hauptkammer 5, dargestellt, wobei der Druck in der Hauptkammer 5 im Wesentlichen dem Druck in der
- 10 Vorkammer 7 entspricht. Als zweite, punktierte Kurve K2 ist ein Ladedruck dargestellt, der in dem Ladepfad 11 und insbesondere in dem dem Brennraum 3 separat zugeordneten Abschnitt 13 herrscht. Dabei zeigt sich, dass der Ladedruck im Wesentlichen konstant ist und insbesondere nur wenig abhängig von dem momentanen Kurbelwinkel der Brennkraftmaschine 1 variiert. Als dritte, gestrichelte Kurve K3 ist eine Steuerkurve für das Auslassventil 35 dargestellt. Als vierte,
- 15 strichpunktierte Kurve K4 ist eine Steuerkurve für das Einlassventil 33 dargestellt.

- Betrachtet man die erste durchgezogene Kurve K1 des Zylinderdrucks, so zeigt sich, dass während eines Expansionstakts des Zylinders und insbesondere zu dem Zeitpunkt, zudem das Auslassventil 35 öffnet, der Zylinderdruck abfällt, bis er schließlich unter das Niveau des
- 20 punktiert dargestellten Ladedrucks der zweiten Kurve K2 fällt. Wird das Auslassventil 35 wieder geschlossen, steigt der Druck wiederum an, insbesondere über das Niveau des Ladedrucks. Ein erster, gestrichelter Flächenbereich F1 zeigt eine Fläche in einem Bereich zwischen der ersten durchgezogenen Kurve K1 des Zylinderdrucks und der zweiten punktierten Kurve K2 des Ladedrucks, in welchem der Zylinderdruck kleiner ist als der Ladedruck. Es herrscht hier also
- 25 ein positives Spülgefälle, wobei es hierdurch einem ersten Spülvorgang kommt. Das Rückschlagventil 21 öffnet also, und es wird Brennstoff oder ein fettes Gemisch aus der Brennstoffzumischkammer 15 in die Vorkammer 7 geleitet. Allerdings ist die in dem ersten Flächenbereich F1 in die Vorkammer 7 gespülte Brennstoffmasse im Vergleich zu der insgesamt gespülten Masse gering, sodass es hier bevorzugt nicht zu einem Überströmen in die
- 30 Hauptkammer 5 kommt.

Der erste Flächenbereich F1 kann auch entfallen. Insbesondere ist es möglich, wenigstens einen Parameter ausgewählt aus einer Gruppe bestehend aus einem Abgasgegendruck, einer geometrischen Ausgestaltung wirksamer Flächen des Rückschlagventils 21, der Vorspannung desselben, und einer Ansteuerung des Einlassventils 33 und/oder des Auslassventils 35, oder einer Mehrzahl der genannten Parameter und/oder anderer oder zusätzlicher Parameter, so zu wählen, dass der Zylinderdruck in dem Kurbelwinkelbereich des in Figur 3a) dargestellten, ersten Flächenbereichs F1 nicht unter das Niveau des Ladedrucks sinkt oder jedenfalls nur in solchem Umfang, dass das Rückschlagventil 21 nicht öffnet. Eine solche Ausgestaltung kann Vorteile aufweisen. Insbesondere kann so verhindert werden, dass unverbrannter Brennstoff durch das geöffnete Auslassventil 35 strömt, wodurch gegebenenfalls Kohlenwasserstoff-Emissionen der Brennkraftmaschine 1 – möglicherweise in unzulässiger Weise – erhöht werden könnten. Weiterhin besteht aufgrund des noch relativ heißen Brennraums in dem Kurbelwinkelbereich des in Figur 3a) dargestellten, ersten Flächenbereichs F1 die Gefahr einer Selbstzündung des eingebrachten Brennstoffs, die durch Vermeidung der Ausbildung dieses Flächenbereichs F1 verhindert werden kann.

Wie sich anhand der gestrichelten Steuerkurve K3 des Auslassventils 35 und der strichpunktierten Steuerkurve K4 des Einlassventils 33 zeigt, öffnet das Einlassventil 33 bereits, während das Auslassventil 35 noch in seiner Schließbewegung begriffen ist, es ergibt sich also eine Überlappung zwischen der Öffnung des Auslassventils 35 und des Einlassventils 33. Der Kolben erreicht einen oberen Totpunkt bei 360 °KW, wobei sich hieran zu größeren Kurbelwinkeln ein Saugtakt des Kolbens, also eine Abwärtsbewegung in dem Brennraum 3, anschließt. Daher sinkt hier nun wiederum der Druck in dem Brennraum 3 unter den punktiert dargestellten Ladedruck der zweiten Kurve K2, was durch einen zweiten gestrichelten Flächenbereich F2 angedeutet ist. Die strichpunktiierte Steuerkurve des Einlassventils 33 zeigt, dass dieses bei 540 °KW schließt, nämlich dann, wenn der Kolben seinen unteren Totpunkt erreicht. Dies entspricht einer Miller-Steuerzeit, wobei aufgrund der Trägheit der Gasströmung eine Druckdifferenz im Sinne eines positiven Spülgefälles zwischen dem Ladedruck in der Brennstoffzumischkammer 15 und dem Druck in dem Brennraum 3 anhält, sodass sich der Spülvorgang über das Schließen des Einlassventils 33 hinaus fortsetzt. Es bedarf also einer gewissen Kompression durch Aufwärtsbewegung des Kolbens, bis der Druck in dem Brennraum 3 und auch in der Vorkammer 7 wieder über das Niveau des Ladedrucks und damit über das

Niveau des Drucks in der Brennstoffzumischkammer 15 steigt, wobei dann im rechts in dem Diagramm letzten Schnittpunkt der durchgezogenen Kurve K1 des Zylinderdrucks mit der punktierten Kurve K2 des Ladedrucks der Spülvorgang endet. Während der Öffnung des Einlassventils 33 und noch nach dessen Schließen findet ein dominanter Brennstoff-Spülvorgang statt, es wird hier also die Hauptmenge an Brennstoff oder fettem Gemisch in die Vorkammer 7 eingebracht. Dabei schließt das Rückschlagventil 21 stets dann, wenn der Druck in der Vorkammer 7, also insbesondere der Zylinderdruck, größer ist als der Ladedruck und somit der Druck in der Brennstoffzumischkammer 15.

- 10 Figur 3b) zeigt einen Massenstrom $\dot{m}$ aufgetragen gegen den Kurbelwinkel. Dabei sind der erste Spülvorgang im Bereich des in Figur 3a) dargestellten, ersten Flächenbereichs F1 und der zweite Spülvorgang im Bereich des in Figur 3a) dargestellten, zweiten Flächenbereichs F2 zu erkennen. Dabei zeigt sich auch, dass die Hauptmenge an Brennstoff während des zweiten Spülvorgangs in die Vorkammer 7 eingebracht wird. Dabei erfolgt die Spülung insbesondere aufgrund der
- 15 Druckverluste in den Einlassorganen, wobei hierdurch der Druck im Zylinder unterhalb des Ladedruckniveaus liegt.

- Zur Verwirklichung des Verfahrens ist es nicht zwingend erforderlich, dass das Einlassventil 33 mit einer Miller-Steuerzeit angesteuert wird. Vielmehr kann das Verfahren auch mit anderen
- 20 Steuerzeiten sinnvoll durchgeführt werden. Eine Miller-Steuerzeit erhöht allerdings die Effizienz des Verfahrens und verbessert die Spülung der Vorkammer 7.

- Insgesamt zeigt sich insbesondere, dass durch die Brennkraftmaschine 1 und das Verfahren eine Realisierung einer gasgespülten Vorkammer 7 mithilfe eines einfachen Rückschlagventils 21
- 25 ermöglicht wird. Dabei wird eine Druckdifferenz zwischen dem Ladedruck und somit dem Druck in dem Brennstoffzumischbereich 14 stromabwärts eines ansteuerbaren Brennstoffventils 19 und dem Druck in dem Brennraum 3 einschließlich der Vorkammer 7 ausgenutzt, um eine Öffnung des Rückschlagventils 21 zu bewirken und die Vorkammer 7 mit reinem Brennstoff oder einem fetten Gemisch aus Verbrennungsluft und Brennstoff zu spülen.

ANSPRÜCHE

1. Brennkraftmaschine (1), mit

- 5 - wenigstens einem Brennraum (3), der eine Hauptkammer (5) und eine Vorkammer (7) aufweist, wobei die Vorkammer (7) über wenigstens eine Bohrung (9) mit der Hauptkammer (5) in Fluidverbindung ist, wobei
- 10 - der wenigstens eine Brennraum (3) mit einem Ladepfad (11) zur Zuführung von einem Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch durch den Ladepfad (11) in den Brennraum (3) verbunden ist, wobei
- 15 - in einem dem Brennraum (3) separat zugeordneten Abschnitt (13) des Ladepfads (11) ein Brennstoffzumischbereich (14) angeordnet ist, der
- 20 - einerseits mit dem Ladepfad (11) und
- andererseits mit einer Brennstoffleitung (17) zur Zuführung von Brennstoff in den Brennstoffzumischbereich (14) über ein ansteuerbares Brennstoffventil (19) in Fluidverbindung ist,

dadurch gekennzeichnet, dass die Vorkammer (7) und der Brennstoffzumischbereich (14) über ein Rückschlagventil (21) miteinander in Fluidverbindung sind.

- 25 2. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 1, **gekennzeichnete durch** einen Verbindungspfad (25), der an einem ersten Ende (27) von zwei Enden (27,29) in den Brennstoffzumischbereich (14) und an einem zweiten Ende (29) der zwei Enden (27,29) in die Vorkammer (7) mündet, wobei das Rückschlagventil (21) in dem Verbindungspfad (25) angeordnet ist.

3. Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Brennraum (3) mit dem Ladepfad (11) über wenigstens ein vorzugsweise variabel ansteuerbares Einlassventil (33) fluidverbunden ist.

5 4. Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das ansteuerbare Brennstoffventil (19) als Dosierventil zur Mehrpunkteinspritzung ausgebildet ist.

10 5. Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brennstoffleitung (17) in den Verbindungspfad (25) mündet.

6. Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brennkraftmaschine (1) als Gasmotor, vorzugsweise als Magergasmotor, ausgebildet ist.

15 7. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1), wobei

- wenigstens einem in eine Hauptkammer (5) und eine Vorkammer (7) unterteilten Brennraum (3) in einem Ansaugtakt ein Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch über einen Ladepfad (11) zugeführt wird, wobei

- das Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch in einem dem Brennraum (3) separat zugeordneten Abschnitt (13) des Ladepfads (11) erzeugt wird, indem einem in dem separaten Abschnitt (13) angeordneten Brennstoffzumischbereich (14) Brennstoff durch eine Brennstoffleitung (17) über ein ansteuerbares Brennstoffventil (19) zugeführt wird, wobei

- Brennstoff aus dem Brennstoffzumischbereich (14) direkt in die Vorkammer (7) geführt wird, wenn der Druck in der Vorkammer (7) kleiner ist als der Druck in dem Brennstoffzumischbereich (14).

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass Brennstoff aus dem Brennstoffzumischbereich (14) direkt in die Vorkammer (7) geführt wird, wenn ein Differenzdruck zwischen einem Druck in dem Brennstoffzumischbereich (14) und dem Druck in der Vorkammer (7) einen vorbestimmten Wert überschreitet.

5

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 und 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Einlassventil (33), welches die Hauptkammer (5) mit dem Ladepfad (11) verbindet, mit einer Miller-Steuerzeit angesteuert wird.

10 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brennkraftmaschine (1) mit Gas, insbesondere mit einem methanhaltigen Gas als Brennstoff betrieben wird.

1/3

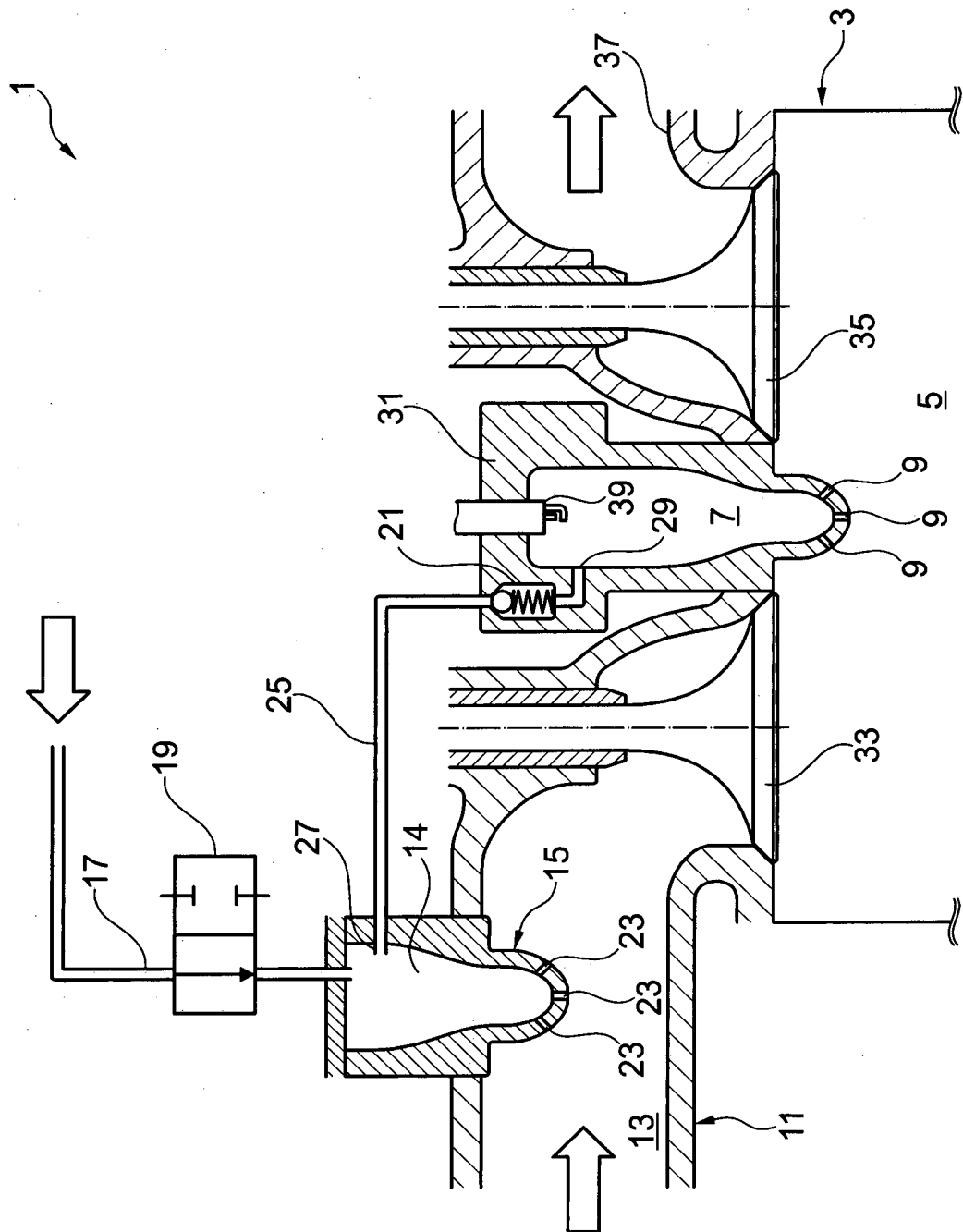


Fig. 1

2/3

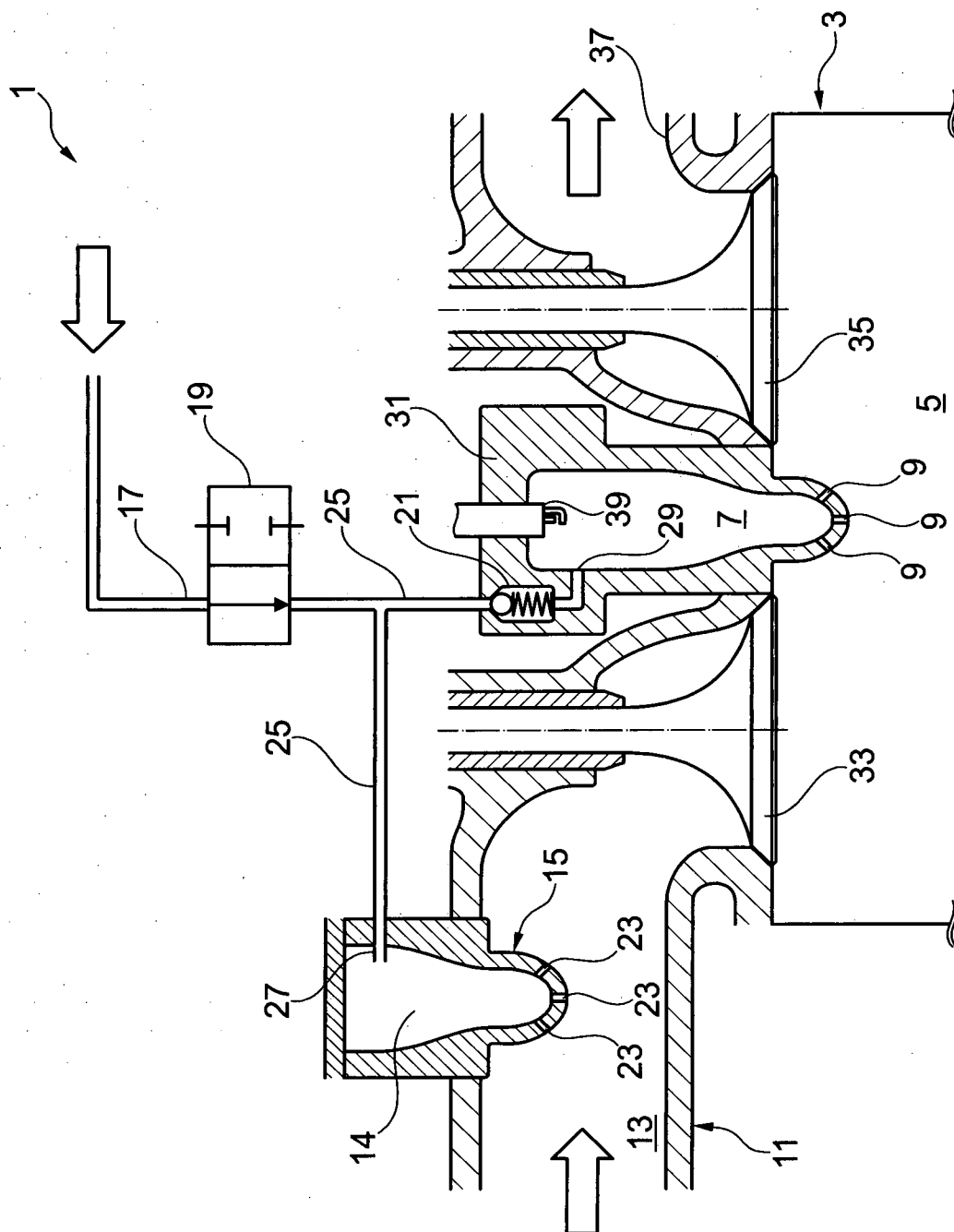


Fig. 2

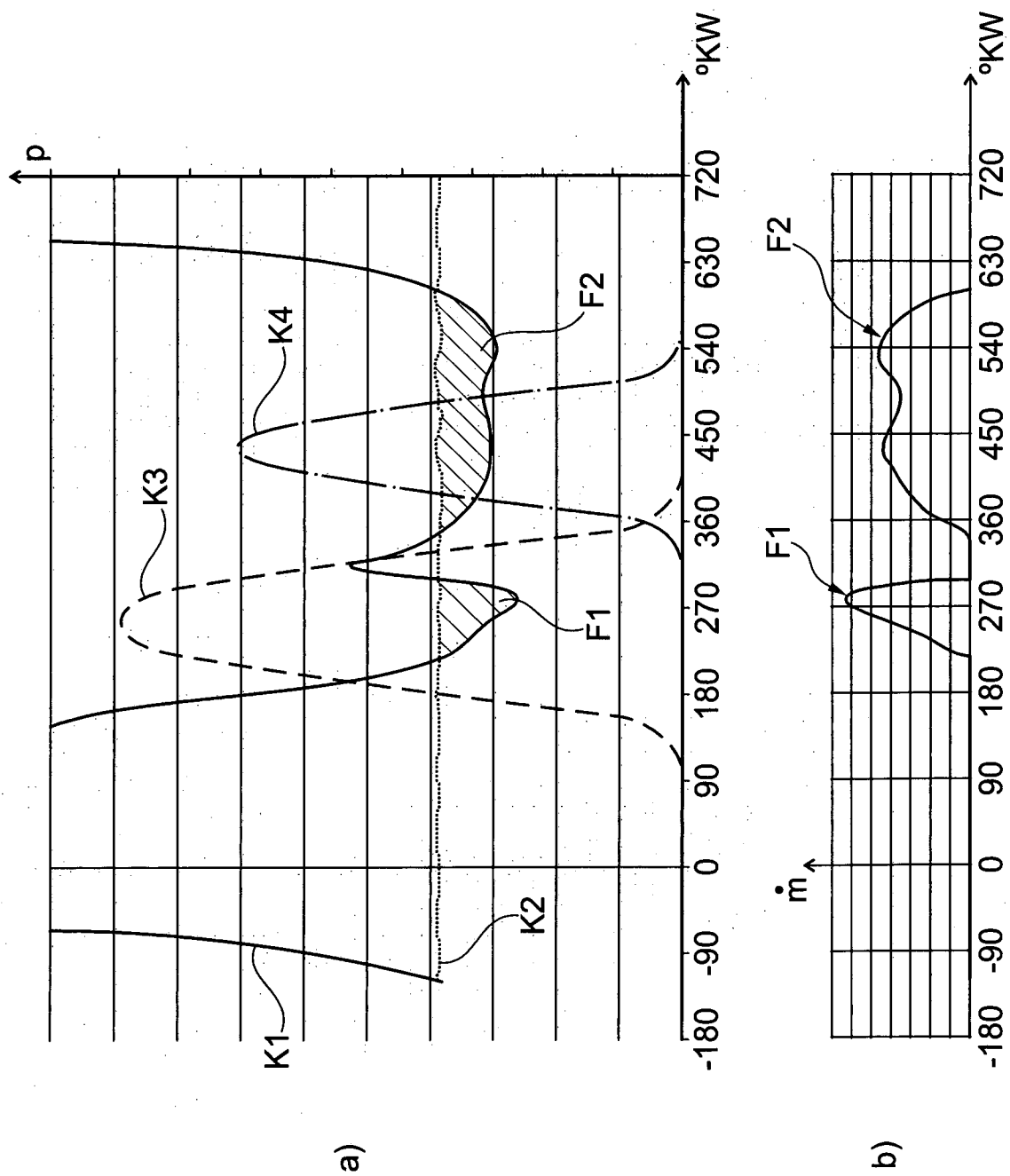


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/000494

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. F02M21/02 F02B19/10 F02B19/12 F02D19/00 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) F02M F02B F02D		
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	WO 93/08399 A1 (TRANSCOM GAS TECH [AU]) 29 April 1993 (1993-04-29) abstract column 7, line 36 - column 9, line 35 column 11, line 15 - line 33 figures 1-3 -----	1-10
X	WO 2014/147978 A1 (KAWASAKI HEAVY IND LTD [JP]) 25 September 2014 (2014-09-25) abstract; figures 1,2 -----	1-6
A	& US 2015/267631 A1 (MIYAMOTO SEKAI [JP] ET AL) 24 September 2015 (2015-09-24) abstract; figures 1,2 -----	7-10
X,P		1-6
A,P		7-10
A	US 2002/148451 A1 (YAMAMOTO TAKAYUKI [JP] ET AL) 17 October 2002 (2002-10-17) abstract; figures 1-14,17 -----	1,7
☐ 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 24 June 2016	Date of mailing of the international search report 06/07/2016	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Payr, Matthias	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/000494

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9308399	A1	29-04-1993	AT 175474 T 15-01-1999
		AU 664570 B2 23-11-1995	
		BR 9206670 A 28-03-1995	
		CA 2122009 A1 29-04-1993	
		CN 1071735 A 05-05-1993	
		DE 69228131 D1 18-02-1999	
		DE 69228131 T2 02-09-1999	
		EP 0680558 A1 08-11-1995	
		FI 941853 A 03-06-1994	
		JP H07500395 A 12-01-1995	
		NO 941414 A 21-06-1994	
		NZ 244841 A 26-05-1995	
		RU 2104406 C1 10-02-1998	
		SG 44653 A1 19-12-1997	
		TW 225574 B 21-06-1994	
		US 5555868 A 17-09-1996	
		WO 9308399 A1 29-04-1993	
		ZA 9208141 A 29-04-1993	
WO 2014147978	A1	25-09-2014	CN 104508275 A 08-04-2015
			EP 2977584 A1 27-01-2016
			JP 2014185574 A 02-10-2014
			KR 20150065898 A 15-06-2015
			US 2015267631 A1 24-09-2015
			WO 2014147978 A1 25-09-2014
US 2002148451	A1	17-10-2002	JP 2002371917 A 26-12-2002
			US 2002148451 A1 17-10-2002

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F02M21/02 F02B19/10 F02B19/12 F02D19/00
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F02M F02B F02D

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	WO 93/08399 A1 (TRANSCOM GAS TECH [AU]) 29. April 1993 (1993-04-29) Zusammenfassung Spalte 7, Zeile 36 - Spalte 9, Zeile 35 Spalte 11, Zeile 15 - Zeile 33 Abbildungen 1-3 -----	1-10
X	WO 2014/147978 A1 (KAWASAKI HEAVY IND LTD [JP]) 25. September 2014 (2014-09-25) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2	1-6
A	& US 2015/267631 A1 (MIYAMOTO SEKAI [JP] ET AL) 24. September 2015 (2015-09-24) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2	7-10
X,P		1-6
A,P		7-10
A	US 2002/148451 A1 (YAMAMOTO TAKAYUKI [JP] ET AL) 17. Oktober 2002 (2002-10-17) Zusammenfassung; Abbildungen 1-14,17 -----	1,7



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

24. Juni 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

06/07/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Payr, Matthias

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/000494

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9308399	A1	29-04-1993	AT 175474 T 15-01-1999
		AU 664570 B2 23-11-1995	
		BR 9206670 A 28-03-1995	
		CA 2122009 A1 29-04-1993	
		CN 1071735 A 05-05-1993	
		DE 69228131 D1 18-02-1999	
		DE 69228131 T2 02-09-1999	
		EP 0680558 A1 08-11-1995	
		FI 941853 A 03-06-1994	
		JP H07500395 A 12-01-1995	
		NO 941414 A 21-06-1994	
		NZ 244841 A 26-05-1995	
		RU 2104406 C1 10-02-1998	
		SG 44653 A1 19-12-1997	
		TW 225574 B 21-06-1994	
		US 5555868 A 17-09-1996	
		WO 9308399 A1 29-04-1993	
		ZA 9208141 A 29-04-1993	
WO 2014147978	A1	25-09-2014	CN 104508275 A 08-04-2015
			EP 2977584 A1 27-01-2016
			JP 2014185574 A 02-10-2014
			KR 20150065898 A 15-06-2015
			US 2015267631 A1 24-09-2015
			WO 2014147978 A1 25-09-2014
US 2002148451	A1	17-10-2002	JP 2002371917 A 26-12-2002
			US 2002148451 A1 17-10-2002