

(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  
18. März 2021 (18.03.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2021/048024 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

F02D 41/00 (2006.01) F02B 19/10 (2006.01)  
F02D 19/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/074815

(22) Internationales Anmeldedatum:  
04. September 2020 (04.09.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2019 006 486.0  
12. September 2019 (12.09.2019) DE

(71) Anmelder: MAN TRUCK & BUS SE [DE/DE]; Dachauer Str. 667, 80995 München (DE).

(72) Erfinder: MALISCHEWSKI, Thomas; c/o MAN Truck & Bus SE, Dachauer Str. 667, 80995 München (DE). BARRICIELA DÍAZ-BLANCO, Bruno; c/o MAN Truck & Bus SE, Dachauer Str. 667, 80995 München (DE).

(74) Anwalt: V. BEZOLD & PARTNER PATENTANWÄLTE - PARTG MBB; Akademiestr. 7, 80799 München (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, IT, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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).

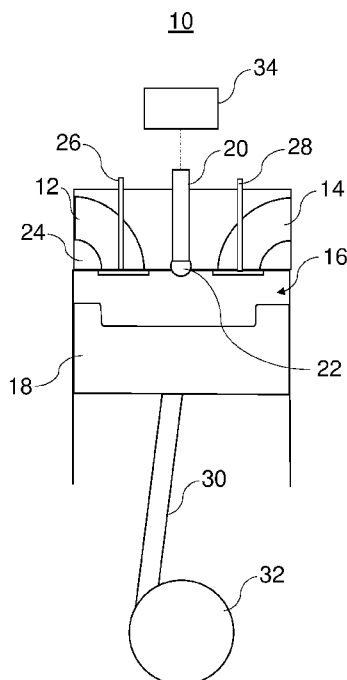
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

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

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER BRENNKRAFTMASCHINE

FIG. 1



(57) Abstract: The invention relates to, inter alia, a method for operating an internal combustion engine (10). A main amount of gaseous fuel is supplied to a main combustion chamber (16) via a pre-combustion chamber (22). An ignition amount of gaseous fuel is supplied to the pre-combustion chamber (22), before the piston (18) has reached the top dead centre, in order to form an air-gas fuel mixture in the pre-combustion chamber (22), which is richer than in the main combustion chamber (16). The air-gas fuel mixture in the pre-combustion chamber (22) ignites independently. The air-gas fuel mixture in the pre-combustion chamber (22) ignites using the independently ignited air-gas fuel mixture in the pre-combustion chamber (22).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft u. a. ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (10). Eine Hauptmenge von Gaskraftstoff wird über eine Vorkammer (22) in eine Hauptbrennkammer (16) zugeführt. Eine Zündmenge von Gaskraftstoff wird in die Vorkammer (22) zugeführt, bevor der Kolben (18) den oberen Totpunkt erreicht, zum Bilden eines Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer (22), das fetter ist als in der Hauptbrennkammer (16). Das Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer (22) zündet selbst. Das Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Hauptbrennkammer (16) zündet durch das selbstgezündete Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer (22).

WO 2021/048024 A1

## Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine

### Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, vorzugsweise einer Einkraftstoff-Brennkraftmaschine, mit einem Gaskraftstoff. Die Erfindung betrifft ferner  
5 eine Brennkraftmaschine und ein Kraftfahrzeug mit einer Brennkraftmaschine.

Zum Betreiben einer Gaskraftstoff-Brennkraftmaschine kann das sogenannte HPDI-Verfahren (High Pressure Direct Injection) verwendet werden. Bei diesem Brennverfahren werden Methan als Gaskraftstoff und Diesel als Flüssigkraftstoff benötigt. Hierbei können das Methan und der Diesel getrennt in einem Injektor geführt sein. Zuerst wird eine Pilotmasse von ca. 3 mg  
10 bis 10 mg Diesel im Bereich des oberen Totpunktes eingespritzt. Aufgrund der Eigenschaften des Diesels (geringe Zündtemperaturen) findet eine sofortige Verbrennung statt. Hierdurch erfolgt eine lokale, deutliche Temperaturerhöhung. Im zweiten Schritt wird dann die Hauptmenge an Methan eingespritzt. Durch die vorherige Temperaturerhöhung findet auch eine sofortige Verbrennung des Methans statt.

15 Nachteilig an diesem Verfahren kann der weiterhin benötigte Dieselmkraftstoff sein, durch den die Systemkomplexität deutlich ansteigt und nicht das volle CO<sub>2</sub>-Einsparpotential gehoben werden kann.

Aus der DE 44 19 429 C2 ist ein Verfahren zum Betreiben einer selbstzündenden gemischverdichtenden Brennkraftmaschine, mit einem gasförmigen Brennstoff, welcher einer Vorkammer  
20 zugeführt wird und dort ein brennstoffreiches Gemisch bildet, und mit einem Hauptbrennraum, in welchem ein gasförmiges Brennstoff/Luft-Gemisch angesaugt wird, bekannt. Der gasförmige Brennstoff wird bei einem Druck in die Vorkammer eingeblasen, der über dem Verdichtungsdruck im Hauptbrennraum liegt. Das gasförmige Brennstoff/Luft-Gemisch für die Hauptbrennkammer wird über eine Niederdruck-Brenngasleitung in einen Einlasskanal  
25 stromaufwärts der Hauptbrennkammer zugeführt.

Eine weitere gasbetriebene Brennkraftmaschine mit einer Vorkammer ist aus der US 2 799 255 bekannt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine alternative und/oder verbesserte Technik zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Gaskraftstoff zu schaffen.

Die Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale des Hauptanspruchs. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen und der Beschreibung angegeben.

Gemäß einem Aspekt ist die vorliegende Offenbarung auf ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, vorzugsweise einer Einkraftstoff-Brennkraftmaschine, aufweisend eine Hauptbrennkammer und eine Vorkammer, die in Fluidverbindung sind, gerichtet. Das Verfahren weist ein Zuführen (z. B. Einblasen) einer Hauptmenge von Gaskraftstoff, vorzugsweise Methan oder Erdgas, über die Vorkammer in die Hauptbrennkammer auf. Das Verfahren weist ein Verdichten und Vermischen von (z. B. verdichtete Lade-) Luft und der Hauptmenge von Gaskraftstoff zu einem Luft-Gaskraftstoffgemisch während einer Bewegung eines Kolbens in der Hauptbrennkammer zu einem oberen Totpunkt einer Kolbenbewegung des Kolbens auf (z. B. im Verdichtungstakt). Das Verfahren weist ein Zuführen (z. B. Einblasen) einer Zündmenge von Gaskraftstoff, vorzugsweise Methan oder Erdgas, in die Vorkammer, bevor der Kolben den oberen Totpunkt erreicht, zum Bilden eines Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer, das fetter ist als in der Hauptbrennkammer, auf. Das Verfahren weist ein Selbstzünden des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer und ein Zünden des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer durch das selbstgezündete Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer auf.

Die Erfindung ermöglicht es, eine Brennkraftmaschine rein mit Methan oder einem anderen gasförmigen Kraftstoff zu betreiben, und zwar mittels Kompressionsselfzündung der Zündmenge. Es wird kein Diesekraftstoff o.Ä. wie beim HPDI-Verfahren zum Zünden des Gaskraftstoffs benötigt. Die Selbstzündung der Zündmenge führt zu einer Zündung der zuvor zugeführten Hauptmenge von Gaskraftstoff. Die Hauptverbrennung selbst kann einem Dieselmotorenverfahren entsprechen oder ähnlich dazu sein. Außerdem ermöglicht das Verfahren einen vergleichsweise einfachen Aufbau, da bspw. dieselbe Gaskraftstoffzufuhrleitung und/oder derselbe Kraftstoffinjektor zur Zuführung der Hauptmenge und der Zündmenge von Gaskraftstoff verwendet werden kann. Dadurch kann die Systemkomplexität nochmals deutlich verringert werden. Eine Magerverbrennung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer kann übermäßige Stickoxidemissionen verhindern, insbesondere unter Teillast der Brennkraftmaschine.

In einem Ausführungsbeispiel werden die Luft und die Hauptmenge von Gaskraftstoff während des Verdichtens zu einem homogenen Luft-Kraftstoffgemisch in der Hauptbrennkammer vermischt. Somit kann die Brennkraftmaschine durch eine homogene Magerverbrennung des Gaskraftstoffs angetrieben werden.

In einer Weiterbildung weist das homogene Luft-Gaskraftstoffgemisch ein Verbrennungsluftverhältnis ( $\lambda$ )  $\geq 2$  und/oder  $\leq 3$  auf. Vorzugsweise kann so eine Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer verhindert werden.

5 In einem weiteren Ausführungsbeispiel weist das homogene Luft-Gaskraftstoffgemisch ein Verbrennungsluftverhältnis auf, das zu keiner Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer führt.

10 In einem weiteren Ausführungsbeispiel weist das Verfahren ferner ein Verdichten eines Teils des Luft-Gaskraftstoffgemischs aus der Hauptbrennkammer in die Vorkammer hinein während der Bewegung des Kolbens zu dem oberen Totpunkt auf, vorzugsweise nach dem Zuführen der Hauptmenge von Gaskraftstoff. Es ist möglich, dass die Zündmenge in den Teil des in die Vorkammer hineinverdichteten Luft-Gaskraftstoffgemischs zugeführt wird. Somit kann auf zuverlässige Weise ein fetteres und selbstzündungsfähiges Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer gebildet werden.

15 In einem weiteren Ausführungsbeispiel weist das fettere Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer ein Verbrennungsluftverhältnis ( $\lambda$ ) zwischen 0.8 und 1.5, vorzugsweise von ca. 1, auf. Vorzugsweise kann so eine Selbstzündung des fetteren Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer ermöglicht werden.

20 In einer Ausführungsform weist das fettere Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer ein Verbrennungsluftverhältnis ( $\lambda$ ) auf, das zu einer Selbstzündung des fetteren Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer führt.

25 In einer weiteren Ausführungsform entspricht die Hauptmenge von Gaskraftstoff zwischen 90 % und 98 % einer pro Verbrennungszyklus insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge. Alternativ oder zusätzlich entspricht die Zündmenge von Gaskraftstoff zwischen 2 % und 10 % einer pro Verbrennungszyklus insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge. Es wurde herausgefunden, dass diese Kleinstmenge von Gaskraftstoff ausreichend sein kann, um eine sichere Selbstzündung zu gewährleisten. Vorzugsweise summieren sich die Hauptmenge von Gaskraftstoff und die Zündmenge von Gaskraftstoff auf 100 % einer pro Verbrennungszyklus insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge.

30 In einer weiteren Ausführungsform ist ein effektiver Mitteldruck des Verfahrens  $\leq 10$  bar, vorzugsweise  $\leq 9$  bar, besonders bevorzugt  $\leq 8$  bar. Vorzugsweise kann so eine Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer verhindert werden.

In einer weiteren Ausführungsform ist ein effektiver Mitteldruck des Verfahrens so (z. B. eingestellt oder gesteuert), dass er zu keiner Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer führt.

5 Bevorzugt kann sich der effektive Mitteldruck als Quotient aus abgegebener Arbeit (an der Kurbelwelle) und Hubraum der Hauptbrennkammer(n) berechnen lassen.

In einer weiteren Ausführungsform wird die Zündmenge von Gaskraftstoff im Bereich des oberen Totpunkts der Kolbenbewegung zugeführt, vorzugsweise kurz vor Erreichen des oberen Totpunkts und/oder in einem Bereich zwischen  $50^\circ\text{KW}$  und  $0^\circ\text{KW}$ , vorzugsweise zwischen  $30^\circ\text{KW}$  und  $15^\circ\text{KW}$ , vor dem oberen Totpunkt.

10 In einer Ausführungsvariante weisen die Hauptmenge und die Zündmenge den gleichen Gaskraftstoff, vorzugsweise Methan oder Erdgas, auf.

In einer weiteren Ausführungsvariante wird die Hauptmenge von Gaskraftstoff während eines Einlasstaktes und/oder eines Verdichtungstaktes zugeführt, vorzugsweise bis maximal  $100^\circ\text{KW}$  vor dem oberen Totpunkt der Kolbenbewegung des Kolbens. So kann sichergestellt werden, dass das Luft-Gaskraftstoffgemisch aus der Hauptbrennkammer in die Vorkammer hineinverdichtet/hineingeschoben werden kann, um dort mit der Zündmenge von Gaskraftstoff ein selbstzündfähiges Gemisch zu bilden.

20 In einer weiteren Ausführungsvariante weist das Verfahren ferner ein Zuführen von (z. B. verdichteter Lade-) Luft, in die Hauptbrennkammer auf, vorzugsweise während eines Einlasstaktes. Beispielsweise kann die Luft über einen Einlasskanal eines Zylinderkopfes, der in die Hauptbrennkammer mündet, zugeführt werden. Zweckmäßig kann die Luft vor dem Zuführen mittels eines Verdichters z. B. einer Turboladerbaugruppe verdichtet werden.

In einem Ausführungsbeispiel erfolgt das Zuführen der Zündmenge und/oder das Zuführen der Hauptmenge gasförmig.

25 In einem weiteren Ausführungsbeispiel wird die Hauptmenge zeitlich vor und/oder beabstandet zu der Zündmenge zugeführt. So kann beispielsweise sichergestellt werden, dass das Luft-Gaskraftstoffgemisch aus der Hauptbrennkammer in die Vorkammer hineinverdichtet/hineingeschoben werden kann, um dort mit der Zündmenge von Gaskraftstoff ein selbstzündfähiges Luft-Gaskraftstoffgemisch zu bilden.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel erfolgt das Zuführen der Zündmenge und das Zuführen der Hauptmenge durch denselben Kraftstoffinjektor, vorzugsweise durch dieselbe Zufuhrleitung desselben Kraftstoffinjektors.

5 In einem weiteren Ausführungsbeispiel erfolgen das Zuführen der Zündmenge und das Zuführen der Hauptmenge mit demselben Zufuhrdruck.

Vorzugsweise erfolgt das Zuführen der Hauptmenge und/oder der Zündmenge mittels eines Kraftstoffinjektors, der bevorzugt direkt in die Vorkammer mündet.

10 In einer Ausführungsform erfolgt das Zuführen der Zündmenge und/oder das Zuführen der Hauptmenge durch einen Piezo-Kraftstoffinjektor oder durch einen mittels eines Elektromagneten betätigten Kraftstoffinjektor.

In einer weiteren Ausführungsform weist eine Innenseitenfläche der Vorkammer einen thermischen Isolator auf, vorzugsweise in Form einer thermisch isolierenden Beschichtung. Der thermische Isolator kann einen Wärmeübergang zwischen einer Wand der Vorkammer und dem Gaskraftstoff minimieren.

15 In einer weiteren Ausführungsform wird der Schritt des Selbstzündens des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer zumindest während eines Normalbetriebs der Brennkraftmaschine durchgeführt (zum Beispiel im Leerlauf, unter Teillast und/oder unter Vollast), vorzugsweise ohne Einsatz von Selbstzündunterstützungseinrichtungen wie einer Glühkerze usw.

20 In einer Ausführungsvariante weist das Verfahren ferner ein Fremdzünden des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer durch eine Zündkerze bei einem Kaltstart der Brennkraftmaschine und/oder ein Vorheizen der Vorkammer durch eine Glühkerze und Selbstzünden des Luft-Gaskraftstoffgemisch in der vorgeheizten Vorkammer bei einem Kaltstart der Brennkraftmaschine auf. So kann, wenn gewünscht oder erforderlich, auch unter Kaltstartbedingungen eine sichere Zündung des Gaskraftstoffs gewährleistet werden.

25 In einem Ausführungsbeispiel weist die Vorkammer ein Volumen in einem Bereich zwischen ca.  $0,5 \text{ cm}^3$  und ca.  $2 \text{ cm}^3$  auf. Ein derartig geringes Volumen kann ausreichend sein, um die sehr geringe Pilotmenge von Gaskraftstoff zusammen mit der verdichteten Luft sicher zum Selbstzünden zu bringen.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die Vorkammer durch eine oder mehrere Durchgangsöffnungen, vorzugsweise 6 bis 14 verteilt angeordnete Durchgangsöffnungen, mit der Hauptbrennkammer verbunden.

5 In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die Vorkammer in einem Kraftstoffinjektor für die Zündmenge und/oder die Hauptmenge integriert, oder die Vorkammer ist separat zu einem Kraftstoffinjektor für die Zündmenge und/oder die Hauptmenge ausgebildet.

10 Beispielsweise kann bei getrennter Ausbildung von Vorkammer und Kraftstoffinjektor die Vorkammer zumindest teilweise durch einen Zylinderkopf der Brennkraftmaschine, durch ein an der Brennraumseite eines Zylinderkopfes der Brennkraftmaschine angebrachtes Kappenelement und/oder durch eine Montagehülse für den Kraftstoffinjektor gebildet sein. Bei Verwendung des Kappenelements kann dieses bspw. von unten in die Montagehülse eingeschraubt sein.

In einer Ausführungsform ist die Vorkammer zentral bezüglich der Hauptbrennkammer angeordnet.

15 Die Erfindung betrifft auch ein Kraftfahrzeug, vorzugsweise ein Nutzfahrzeug (zum Beispiel Lastkraftwagen oder Omnibus), mit einer Brennkraftmaschine, die zum Ausführen eines Verfahrens wie hierin offenbart ausgeführt ist.

20 Zweckmäßig kann die Brennkraftmaschine eine vorzugsweise elektronische Steuereinheit aufweisen, die zum Ausführen des Verfahrens eingerichtet ist, z. B. einen Kraftstoffinjektor der Brennkraftmaschine entsprechend steuert.

25 Vorzugsweise kann sich der Begriff „Steuereinheit“ auf eine Elektronik (z. B. mit Mikroprozessor(en) und Datenspeicher) beziehen, die je nach Ausbildung Steuerungsaufgaben und/oder Regelungsaufgaben übernehmen kann. Auch wenn hierin der Begriff „Steuern“ verwendet wird, kann damit gleichsam zweckmäßig auch „Regeln“ bzw. „Steuern mit Rückkopplung“ umfasst sein.

Es ist auch möglich, das Verfahren und die Vorrichtung wie hierin offenbart für Personenkraftwagen, Großmotoren, geländegängige Fahrzeuge, stationäre Motoren, Marinemotoren usw. zu verwenden.

Die zuvor beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen und Merkmale der Erfindung sind beliebig miteinander kombinierbar. Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden im Folgenden unter Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

5           Figur 1     eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Offenbarung; und

Figur 2     eine Schnittansicht durch einen beispielhaften Zylinderkopf.

Die in den Figuren gezeigten Ausführungsformen stimmen zumindest teilweise überein, so dass ähnliche oder identische Teile mit den gleichen Bezugszeichen versehen sind und zu deren Erläuterung auch auf die Beschreibung der anderen Ausführungsformen bzw. Figuren  
10           verwiesen wird, um Wiederholungen zu vermeiden.

Die Figur 1 zeigt eine Brennkraftmaschine 10. Die Brennkraftmaschine 10 ist als eine Hubkolben-Brennkraftmaschine ausgeführt. Zweckmäßig ist die Brennkraftmaschine 10 als eine Viertakt-Brennkraftmaschine ausgeführt. Die Brennkraftmaschine 10 weist einen oder mehrere Zylinder auf. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit ist lediglich ein Zylinder in Figur 1 dargestellt. Die Brennkraftmaschine 10 ist besonders bevorzugt als eine Einkraftstoff-Brennkraftmaschine zum Betreiben mittels Methan (Erdgas) als einzigen Kraftstoff ausgeführt. Die Brennkraftmaschine 10 kann allerdings bspw. auch mit einem anderen gasförmigen Kraftstoff betrieben werden, z. B. Wasserstoff.  
15

Die Brennkraftmaschine 10 kann in einem Fahrzeug, z. B. einem Kraftfahrzeug, einem Schienenfahrzeug oder einem Wasserfahrzeug, zum Antreiben des Fahrzeugs umfasst sein. Vorzugsweise ist die Brennkraftmaschine 10 in einem Nutzfahrzeug, z. B. einem Lastkraftwagen oder Omnibus, zum Antreiben des Nutzfahrzeugs umfasst. Es ist auch möglich, die Brennkraftmaschine 10 in einer stationären Anlage z. B. zum Antreiben eines Generators zu verwenden.  
20

Die Brennkraftmaschine 10 kann je Zylinder mindestens einen Lufteinlasskanal 12, mindestens einen Abgasauslasskanal 14, eine Hauptbrennkammer 16, einen Kolben 18, einen Kraftstoffinjektor 20, eine (z. B. einzige) Vorkammer (Vorbrennkammer) 22 und einen Zylinderkopf 24 aufweisen.  
25

Der Lufteinlasskanal 12 mündet in die Hauptbrennkammer 16. Über den Lufteinlasskanal 12 kann (Lade-)Luft zu der Hauptbrennkammer 16 zugeführt werden. Der Lufteinlasskanal 12 ist  
30

in dem Zylinderkopf 24 angeordnet. Der Zylinderkopf 24 begrenzt die Hauptbrennkammer 16 von oben. Stromaufwärts des Lufteinlasskanals 12 kann ein Luftzuführsystem angeordnet sein. Das Luftzuführsystem kann je nach Anforderung bspw. einen oder mehrere Verdichter einer Turboladerbaugruppe, einen Ladeluftkühler und/oder eine Abgasrückführleitung aufweisen.

Eine Mündungsöffnung des Lufteinlasskanals 12 in die Hauptbrennkammer 16 ist mittels eines Lufteinlassventils 26 zu öffnen und zu schließen. Das Lufteinlassventil 26 ist vorzugsweise als ein Tellerventil ausgeführt. Das Lufteinlassventil 26 kann mittels jeglicher Technik betätigt werden, z. B mittels eines zweckmäßig variablen Ventiltriebs.

Nach der Verbrennung verlässt das Abgas die Hauptbrennkammer 16 durch den mittels eines Abgasauslassventils 28 geöffneten Abgasauslasskanal 14. Das Abgasauslassventil 28 kann bspw. als ein Tellerventil ausgeführt sein. Der Abgasauslasskanal 14 ist in dem Zylinderkopf 24 angeordnet. Stromabwärts des Abgasauslasskanals 14 kann ein Abgassystem angeordnet sein. Das Abgassystem kann bspw. eine oder mehrere Abgasturbinen einer Turboladerbaugruppe und/oder mindestens eine Abgasnachbehandlungsvorrichtung aufweisen. Das Abgasauslassventil 28 kann mittels jeglicher Technik betätigt werden, z. B mittels eines zweckmäßig variablen Ventiltriebs.

Der Kolben 18 ist hin- und her bewegbar in dem Zylinder angeordnet. Der Kolben 18 ist über einen Pleuel 30 mit einer Pleuelwelle 32 verbunden. Der Kolben 18 begrenzt die Hauptbrennkammer 16 nach unten. Der Kolben 18 kann Luft oder eine Luft-Kraftstoff-Gemisch in der Hauptbrennkammer 16 bei seiner Bewegung vom unteren Totpunkt zum oberen Totpunkt verdichten.

Der Kraftstoffinjektor 20 ist als ein Gaskraftstoff-Injektor, vorzugsweise ein Methan/Erdgas-Injektor, ausgebildet. Der Kraftstoffinjektor 20 ist als ein Einkraftstoff-Injektor zum Führen eines einzigen Gaskraftstoffs ausgebildet. Der Kraftstoffinjektor 20 ist so angeordnet oder ausgeführt, dass Gaskraftstoff in die Vorkammer 22 zugeführt wird. Vorzugsweise bläst der Kraftstoffinjektor 20 den Gaskraftstoff gasförmig direkt in die Vorkammer 22 ein. Der Kraftstoffinjektor 20 ist zweckmäßig zentral bezüglich der Hauptbrennkammer 16 angeordnet.

Die Zuführung durch den Kraftstoffinjektor 20 erfolgt zweckmäßig mit einem hohen Druck, zum Beispiel in einem Bereich zwischen 200 bar und 600 bar. Bspw. kann der Kraftstoffinjektor 20

mit einem Gaskraftstoff-Common-Rail fluidisch verbunden sein. Das Gaskraftstoff-Common-Rail kann Gaskraftstoff zu dem Kraftstoffinjektor 20 zuführen.

Der Kraftstoffinjektor 20 ist dazu ausgebildet, eine Zündmenge und eine Hauptmenge von Gaskraftstoff zu unterschiedlichen Zeitpunkten in die Vorkammer 22 zuzuführen. Der Kraftstoffinjektor 20 kann auf jegliche Art und Weise betätigt sein. Um auch ein Zuführen von Kleinstmengen von Gaskraftstoff zu ermöglichen, ist der Kraftstoffinjektor 20 vorzugsweise ein Piezo-Kraftstoffinjektor, der mittels eines Piezoelements betätigbar ist. Z. B. kann sich eine Verschlussnadel des Kraftstoffinjektors 20 in Abhängigkeit von einem Zustand eines Piezoelements bzw. Piezokristalls des Kraftstoffinjektors 20 heben oder senken. Es ist bspw. auch möglich, dass der Kraftstoffinjektor 20 mittels eines Elektromagneten betätigbar ist. Zweckmäßig ist eine Betätigung des Kraftstoffinjektors 20 durch eine elektronische Steuereinheit 34 gesteuert.

Die Vorkammer 22 kann in dem Kraftstoffinjektor 20 integriert sein, wie in Figur 1 angedeutet ist. Es ist allerdings auch möglich, die Vorkammer 22 separat zu dem Kraftstoffinjektor 20 auszubilden, wie in Figur 2 dargestellt ist. Der Kraftstoffinjektor 20 kann dann bspw. direkt in die Vorkammer 22 münden. Bei getrennter Ausbildung von Vorkammer 22 und Kraftstoffinjektor 20 kann die Vorkammer 22 z. B. zumindest teilweise durch den Zylinderkopf 24, durch ein an der Brennraumseite des Zylinderkopfes 24 angebrachtes Kappenelement 36 (siehe Figur 2) und/oder durch eine Montagehülse 38 (siehe Figur 2) für den Kraftstoffinjektor 20 gebildet sein. Bei Verwendung des Kappenelements 36 kann dieses bspw. von unten in die Montagehülse 38 eingeschraubt sein.

Die Vorkammer 22 kann bspw. ein kugeliges, domförmiges oder abgerundetes Innenvolumen aufweisen. Der Gaskraftstoff ist mittels des Kraftstoffinjektors 20 in das Innenvolumen zuführbar. Das Innenvolumen kann zweckmäßig in einem Bereich zwischen  $0,5 \text{ cm}^3$  und  $2,5 \text{ cm}^3$  liegen.

Die Vorkammer 22 ist über mehrere Durchgangsöffnungen (Überströmöffnungen) mit der Hauptbrennkammer 16 in Fluidverbindung. Die Durchgangsöffnungen sind zweckmäßig symmetrisch verteilt um einen Umfang der Vorkammer 22 verteilt angeordnet. Bspw. sind sechs bis vierzehn Durchgangsöffnungen umfasst.

Es ist möglich, dass eine Innenseitenfläche der Vorkammer 22 einen thermischen Isolator 40 aufweist. Der thermische Isolator 40 kann zweckmäßig als eine Beschichtung der Innenseitenfläche ausgeführt sein. Bspw. kann der thermische Isolator 40 aus einem keramischen Material bestehen. Es ist möglich, dass der thermische Isolator 40 bspw. auf die Innenseitenfläche aufgedampft ist, mittels Plasmaauftragen auf die Innenseitenfläche aufgetragen ist oder mittels eines Spritzverfahrens auf die Innenseitenfläche aufgespritzt ist. Der thermische Isolator 40 kann ein Kühlen von Gaskraftstoff in der Vorkammer 22 durch Wände der Vorkammer 22 verhindern oder zumindest verringern.

In einem Einlasstakt wird (Verbrennungs-)Luft durch den Lufteinlasskanal 12 und das geöffnete Lufteinlassventil 26 in die Hauptbrennkammer 16 zugeführt. Der Kolben 18 bewegt sich vom oberen Totpunkt zum unteren Totpunkt.

In Einlass- und/oder Verdichtungstakt wird eine Hauptmenge von Gaskraftstoff über den Kraftstoffinjektor 20 in die Vorkammer 22 zugeführt, vorzugsweise eingeblasen. Bevorzugt wird der Gaskraftstoff nicht länger als bis zu  $100^{\circ}\text{KW}$  vor OT im Verdichtungstakt zugeführt.

Die Hauptmenge von Gaskraftstoff wird mit einem Druck in die Vorkammer 22 eingeblasen, der höher als ein Druck in der Vorkammer 22 und der Hauptbrennkammer 16 ist, z. B. höher als ein Verdichtungsenddruck der Brennkraftmaschine 10. Bevorzugt entspricht die Hauptmenge von Gaskraftstoff zwischen rund 90 % und rund 98 % einer während eines (einzigen) Verbrennungszyklus (bestehend aus Einlass-, Verdichtungs-, Expansions- und Auslastakt) insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge.

Die Hauptmenge von Gaskraftstoff strömt während des Einlass- und/oder Verdichtungstaktes über die Durchgangsöffnungen aus der Vorkammer 22 in die Hauptbrennkammer 16. Die Hauptmenge von Gaskraftstoff vermischt sich mit der zugeführten Luft in der Hauptbrennkammer 16 zu einem Luft-Gaskraftstoffgemisch. Während des Verdichtungstaktes / einer Kolbenbewegung des Kolbens 18 vom unteren Totpunkt zum oberen Totpunkt wird das Luft-Gaskraftstoffgemisch zu einem homogenen Gemisch verdichtet, z. B. aufgrund der Gasbewegungen in der Hauptbrennkammer 16.

Damit es zu keiner ungewünschten Selbstzündung in der Hauptbrennkammer kommt, sollte das Verfahren vorzugsweise nur bei vergleichsweise niedrigen effektiven Mitteldrücken angewendet werden. Hierbei kann das homogene Gemisch ein Verbrennungsluftverhältnis ( $\lambda$ ) zwi-

schen ca. 2 und ca. 3 erreichen. Aus thermodynamischer Sicht kann das Verfahren somit bevorzugt bis zu einem effektiven Mitteldruck von ca. 10 bar, vorzugsweise ca. 9 bar, besonders bevorzugt ca. 8 bar oder kleiner, angewendet werden. So kann das Verfahren beispielsweise durchgeführt werden, ohne dass das Verbrennungsluftverhältnis ( $\lambda$ ) für das Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Hauptbrennkammer 16 unter Werte von ca. 2 sinkt.

Das Luft-Gaskraftstoffgemisch wird, nachdem die Zuführung der Hauptmenge von Gaskraftstoff in die Vorkammer 22 beendet ist, während des Verdichtungstaktes über die Durchgangsöffnungen aus der Hauptbrennkammer 16 in die Vorkammer 22 hineinverdichtet bzw. geschoben.

10 Zum Ende des Verdichtungstaktes, bevor der Kolben 18 den oberen Totpunkt erreicht, wird eine Zündmenge von Gaskraftstoff in die Vorkammer 22 zugeführt, vorzugsweise eingeblasen und/oder unter hohem Druck zugeführt. Die Zuführung erfolgt vorzugsweise zwischen 30°KW und 15°KW vor dem oberen Totpunkt. Die Zuführzeitdauer für die Zündmenge kann vergleichsweise gering sein, z. B. nur 50  $\mu$ s bis 200  $\mu$ s.

15 Die Zündmenge von Gaskraftstoff wird vorzugsweise mittels desselben Kraftstoffinjektors 20 zugeführt wie die Hauptmenge. Bevorzugt entspricht die Zündmenge von Gaskraftstoff zwischen rund 2 % und rund 10 % einer während eines (einzigen) Verbrennungszyklus insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge. Die Hauptmenge und die Zündmenge summieren sich zweckmäßig auf 100 %. Beispielsweise kann zwischen 0,5 mg und 3 mg Gaskraftstoff als  
20 Zündmenge zugeführt werden.

In der Vorkammer 22 bildet sich durch die Zuführung der Zündmenge in das Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer 22 ein Luft-Gaskraftstoffgemisch, dass fetter und zündfreudiger ist als das Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Hauptbrennkammer 16. Vorzugsweise wird durch die Zuführung der Zündmenge in der Vorkammer ein Verbrennungsluftverhältnis ( $\lambda$ ) zwischen 0.8 und 1.5, vorzugsweise von ca. 1, in der Vorkammer 22 erreicht. Zumindest im Normalbetrieb der Brennkraftmaschine 10 zündet dieses fettere Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer 22 selbst. Eine dabei entstehende Flammenfront breitet sich aus der Vorkammer 22 durch die Durchgangsöffnungen in die Hauptbrennkammer 16 aus und zündet dort das magerere, homogene Luft-Gaskraftstoffgemisch. Die folgende homogene Magerverbrennung  
25 in der Hauptbrennkammer 16 ermöglicht eine deutliche Reduzierung der Stickoxidemissionen, insbesondere unter Teillast der Brennkraftmaschine 10.  
30

Es ist möglich, dass unter Kaltstartbedingungen der Brennkraftmaschine 10 eine unterstützte Selbst- oder Fremdzündung des Gaskraftstoffs bewirkt wird. Die Selbstzündung der Zündmenge kann bspw. durch eine Glühkerze, die in die Vorkammer 22 ragt, unterstützt werden. Es kann auch eine Fremdzündung durch eine Zündkerze, die in die Vorkammer 22 ragt, bewirkt werden. Die Glühkerze oder Zündkerze wird vorzugsweise nur unter Kaltstartbedingungen der Brennkraftmaschine 10 verwendet.

Die Erfindung ist nicht auf die vorstehend beschriebenen bevorzugten Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr ist eine Vielzahl von Varianten und Abwandlungen möglich, die ebenfalls von dem Erfindungsgedanken Gebrauch machen und deshalb in den Schutzbereich fallen. Insbesondere beansprucht die Erfindung auch Schutz für den Gegenstand und die Merkmale der Unteransprüche unabhängig von den in Bezug genommenen Ansprüchen. Insbesondere sind die einzelnen Merkmale des unabhängigen Anspruchs 1 jeweils unabhängig voneinander offenbart. Zusätzlich sind auch die Merkmale der Unteransprüche unabhängig von sämtlichen Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1 offenbart. Alle Bereichsangaben hierin sind derart offenbart zu verstehen, dass gleichsam alle in den jeweiligen Bereich fallenden Werte einzeln offenbart sind, z. B. auch als jeweils bevorzugte engere Außengrenzen des jeweiligen Bereichs.

**Bezugszeichenliste**

10	Brennkraftmaschine
12	Luftinlasskanal
14	Abgasauslasskanal
16	Hauptbrennkammer
18	Kolben
20	Kraftstoffinjektor
22	Vorkammer (Vorbrennkammer)
24	Zylinderkopf
26	Luftinlassventil
28	Abgasauslassventil
30	Pleuel
32	Kurbelwelle
34	Steuereinheit
36	Kappenelement
38	Montagehülse
40	Thermischer Isolator

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (10), vorzugsweise einer Einkraftstoff-Brennkraftmaschine, aufweisend eine Hauptbrennkammer (16) und eine Vorkammer (22), die in Fluidverbindung sind, wobei das Verfahren aufweist:
  - 5           Zuführen einer Hauptmenge von Gaskraftstoff, vorzugsweise Methan oder Erdgas, über die Vorkammer (22) in die Hauptbrennkammer (16);  
          Verdichten und Vermischen von Luft und der Hauptmenge von Gaskraftstoff zu einem Luft-Gaskraftstoffgemisch während einer Bewegung eines Kolbens (18) in der Hauptbrennkammer (16) zu einem oberen Totpunkt einer Kolbenbewegung des Kolbens (18);
  - 10          Zuführen einer Zündmenge von Gaskraftstoff, vorzugsweise Methan oder Erdgas, in die Vorkammer (22), bevor der Kolben (18) den oberen Totpunkt erreicht, zum Bilden eines Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer (22), das fetter ist als in der Hauptbrennkammer (16);  
          Selbstzünden des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer (22); und
  - 15          Zünden des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer (16) durch das selbstgezündete Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer (22).
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei:
  - die Luft und die Hauptmenge von Gaskraftstoff während des Verdichtens zu einem homogenen Luft-Kraftstoffgemisch in der Hauptbrennkammer (16) vermischt werden.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei:
  - das homogene Luft-Gaskraftstoffgemisch ein Verbrennungsluftverhältnis ( $\lambda$ )  $\geq 2$  und/oder  $\leq 3$  aufweist, sodass vorzugsweise eine Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer (16) verhindert wird; und/oder
  - das homogene Luft-Gaskraftstoffgemisch ein Verbrennungsluftverhältnis aufweist,
  - 25          das zu keiner Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer (16) führt.
4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, ferner aufweisend:
  - Verdichten eines Teils des Luft-Gaskraftstoffgemischs aus der Hauptbrennkammer (16) in die Vorkammer (22) hinein während der Bewegung des Kolbens (18) zu dem oberen Totpunkt, vorzugsweise nach dem Zuführen der Hauptmenge von Gaskraftstoff,
  - 30          wobei die Zündmenge in den Teil des in die Vorkammer (22) hineinverdichteten Luft-Gaskraftstoffgemischs zugeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:  
das fettere Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer (22) ein Verbrennungsluftverhältnis ( $\lambda$ ) zwischen 0.8 und 1.5, vorzugsweise von ca. 1, aufweist, sodass vorzugsweise eine Selbstzündung des fetteren Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer (22) ermöglicht wird; und/oder
- 5  
das fettere Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer (22) ein Verbrennungsluftverhältnis ( $\lambda$ ) aufweist, das zu einer Selbstzündung des fetteren Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer (22) führt.
6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:
- 10  
die Hauptmenge von Gaskraftstoff zwischen 90 % und 98 % einer pro Verbrennungszyklus insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge entspricht; und/oder  
die Zündmenge von Gaskraftstoff zwischen 2 % und 10 % einer pro Verbrennungszyklus insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge entspricht, und/oder  
die Hauptmenge von Gaskraftstoff und die Zündmenge von Gaskraftstoff sich auf
- 15  
100 % einer pro Verbrennungszyklus insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge summieren.
7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:  
ein effektiver Mitteldruck des Verfahrens  $\leq 10$  bar, vorzugsweise  $\leq 9$  bar, besonders bevorzugt  $\leq 8$  bar, ist, sodass vorzugsweise eine Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer (16) verhindert wird; und/oder
- 20  
ein effektiver Mitteldruck des Verfahrens so ist, dass er zu keiner Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer (16) führt.
8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:  
die Zündmenge von Gaskraftstoff im Bereich des oberen Totpunkts der Kolbenbewegung zugeführt wird, vorzugsweise kurz vor Erreichen des oberen Totpunkts und/oder
- 25  
in einem Bereich zwischen 50 °KW und 0°KW, vorzugsweise zwischen 30°KW und 15°KW, vor dem oberen Totpunkt.
9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:  
die Hauptmenge und die Zündmenge den gleichen Gaskraftstoff, vorzugsweise
- 30  
Methan oder Erdgas, aufweisen; und/oder

die Hauptmenge von Gaskraftstoff während eines Einlasstaktes und/oder eines Verdichtungstaktes zugeführt wird, vorzugsweise bis maximal  $100^{\circ}\text{KW}$  vor dem oberen Totpunkt; und/oder

5 das Verfahren ferner ein Zuführen von Luft, in die Hauptbrennkammer (16) aufweist, vorzugsweise während eines Einlasstaktes.

10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:

das Zuführen der Zündmenge und/oder das Zuführen der Hauptmenge gasförmig erfolgt; und/oder

10 das Zuführen der Hauptmenge zeitlich vor und/oder beabstandet zu dem Zuführen der Zündmenge erfolgt; und/oder

das Zuführen der Zündmenge und das Zuführen der Hauptmenge durch denselben Kraftstoffinjektor (20) erfolgt, vorzugsweise durch dieselbe Zufuhrleitung desselben Kraftstoffinjektors (20); und/oder

15 das Zuführen der Zündmenge und das Zuführen der Hauptmenge mit demselben Zufuhrdruck erfolgen.

11. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:

das Zuführen der Zündmenge und/oder das Zuführen der Hauptmenge durch einen Piezo-Kraftstoffinjektor (20) erfolgt; oder

20 das Zuführen der Pilotmenge und/oder das Zuführen der Hauptmenge durch einen mittels eines Elektromagneten betätigten Kraftstoffinjektor (20) erfolgt.

12. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:

eine Innenseitenfläche der Vorkammer (22) einen thermischen Isolator (40) aufweist, vorzugsweise in Form einer thermisch isolierenden Beschichtung.

13. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:

25 der Schritt des Selbstzündens des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer (22) während eines Normalbetriebs der Brennkraftmaschine (10) durchgeführt wird; und das Verfahren ferner aufweist:

- Fremdzünden des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer (22) durch eine Zündkerze bei einem Kaltstart der Brennkraftmaschine (10); oder
- 30 - Vorheizen der Vorkammer (22) durch eine Glühkerze und Selbstzündens der des Luft-Gaskraftstoffgemisch in der vorgeheizten Vorkammer (22) bei einem Kaltstart der Brennkraftmaschine (10).

14. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:

die Vorkammer (22) ein Volumen in einem Bereich zwischen  $0,5 \text{ cm}^3$  und  $2 \text{ cm}^3$  aufweist; und/oder

5 die Vorkammer (22) durch mehrere Durchgangsöffnungen, vorzugsweise 6 bis 14 verteilt angeordnete Durchgangsöffnungen, mit der Hauptbrennkammer (16) verbunden ist; und/oder

die Vorkammer (22) in einem Kraftstoffinjektor (20) für die Zündmenge und/oder die Hauptmenge integriert ist, oder die Vorkammer (22) separat zu einem Kraftstoffinjektor (20) für die Zündmenge und/oder die Hauptmenge ausgebildet ist; und/oder

10 die Vorkammer (22) zentral bezüglich der Hauptbrennkammer (16) angeordnet ist.

15. Brennkraftmaschine (10) oder Kraftfahrzeug, vorzugsweise Nutzfahrzeug, mit einer Brennkraftmaschine (10), wobei die Brennkraftmaschine (10) zum Ausführen eines Verfahrens nach einem der vorherigen Ansprüche ausgeführt ist.

FIG. 1

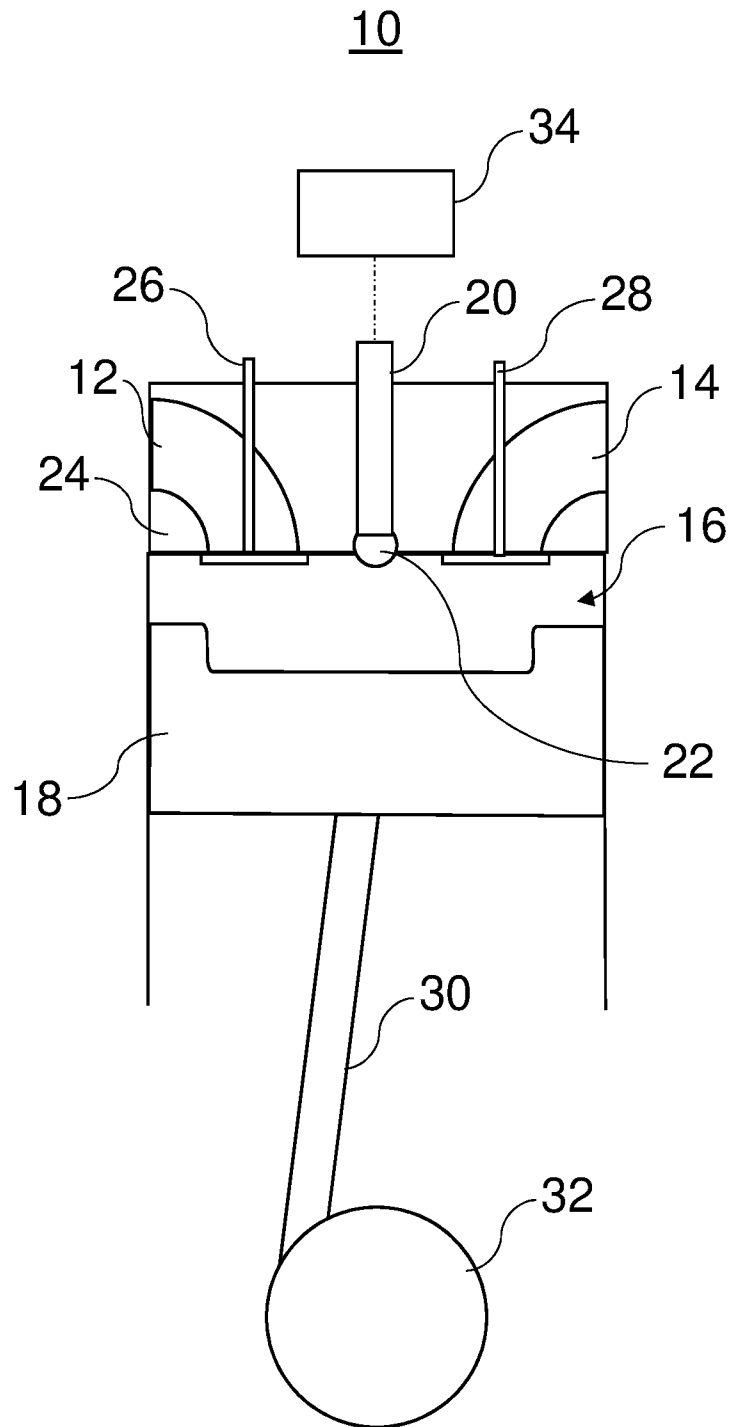
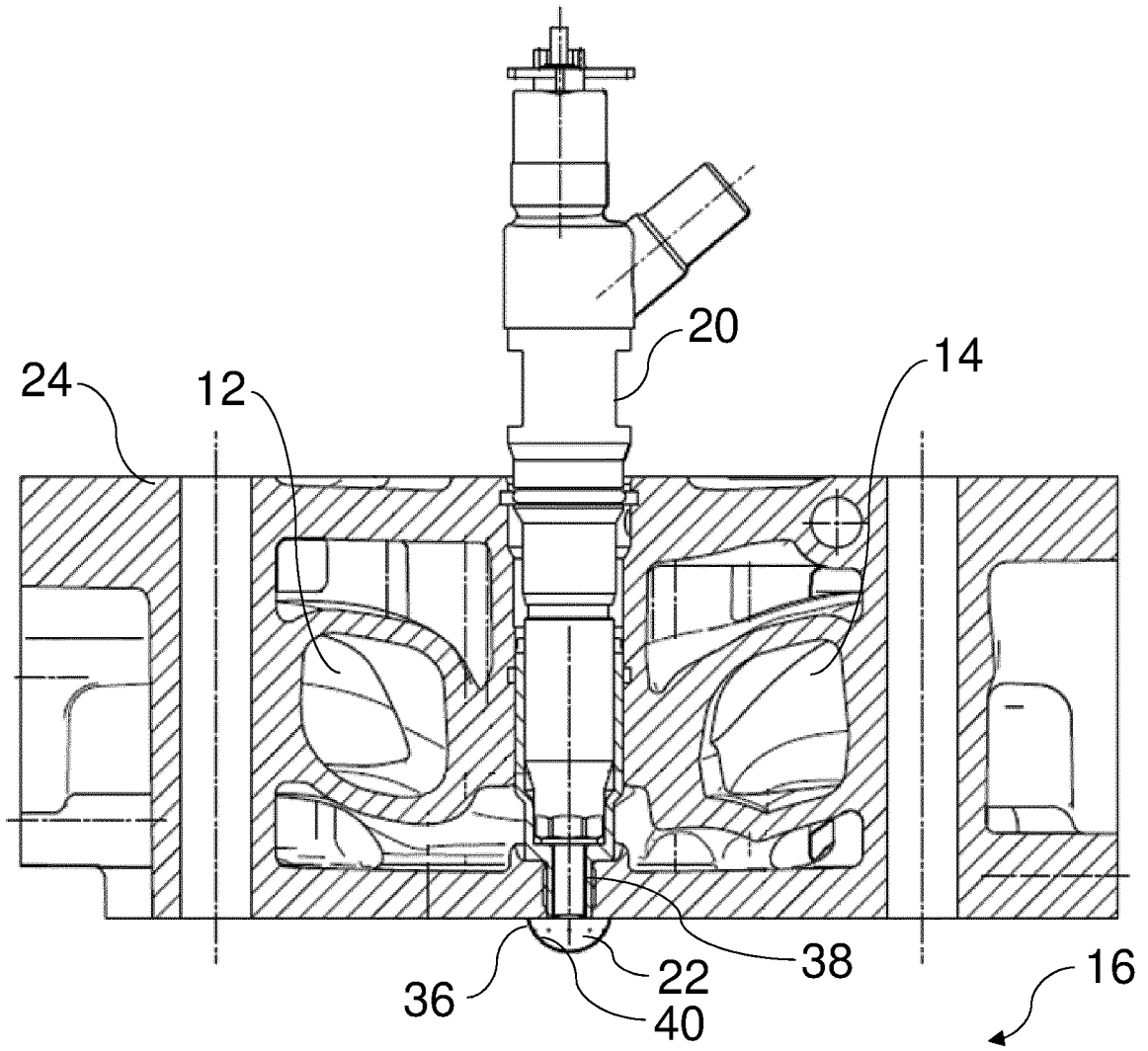


FIG. 2



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/074815

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>F02D 41/00</i> (2006.01)i; <i>F02D 19/02</i> (2006.01)i; <i>F02B 19/10</i> (2006.01)i  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>  Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F02D; F02B  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		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2018066369 A (HONDA MOTOR CO LTD; UNIV TOKUSHIMA) 26 April 2018 (2018-04-26) paragraphs [0042] - [0046], [0057]; claims 1,8; figures 1-5	1-15
A	AT 6290 U1 (AVL LIST GMBH [AT]) 25 July 2003 (2003-07-25) page 3, paragraph 5 - page 4, paragraph 2; claim 1; figure 1	1,12,15
A	DE 4419429 C2 (MAN B & W DIESEL AG [DE]) 23 July 1998 (1998-07-23) cited in the application column 3, line 65 - column 4, line 24; claims 1-11	1,15
A	DE 102015202193 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 11 August 2016 (2016-08-11) paragraph [0051]; claims 1-6; figures 1,2	1,15
A	EP 2998539 A1 (CATERPILLAR MOTOREN GMBH & CO [DE]) 23 March 2016 (2016-03-23) paragraphs [0043], [0044], [0047]; figure 2	1-15
X	DE 102007060560 A1 (MAN DIESEL SE [DE]) 18 June 2009 (2009-06-18) claims 1,3; figures 1-3	1,15
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>11 November 2020</b>		Date of mailing of the international search report <b>23 November 2020</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Boye, Michael</b>  Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2020/074815**

<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2018141589 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 09 August 2018 (2018-08-09) claims 1-10; figures 1-4	1,15
.....		

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2020/074815**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2018066369	A	26 April 2018	JP 6714198 B2	24 June 2020
				JP 2018066369 A	26 April 2018
AT	6290	U1	25 July 2003	NONE	
DE	4419429	C2	23 July 1998	NONE	
DE	102015202193	A1	11 August 2016	NONE	
EP	2998539	A1	23 March 2016	CN 106715859 A	24 May 2017
				EP 2998539 A1	23 March 2016
				US 2017284320 A1	05 October 2017
				WO 2016041613 A1	24 March 2016
DE	102007060560	A1	18 June 2009	CN 101457687 A	17 June 2009
				CN 103590952 A	19 February 2014
				DE 102007060560 A1	18 June 2009
				FI 20086183 A	16 June 2009
				JP 2009144707 A	02 July 2009
				KR 20090064298 A	18 June 2009
WO	2018141589	A1	09 August 2018	DE 102017201589 A1	02 August 2018
				WO 2018141589 A1	09 August 2018

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. F02D41/00 F02D19/02 F02B19/10  
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 F02D F02B

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	JP 2018 066369 A (HONDA MOTOR CO LTD; UNIV TOKUSHIMA) 26. April 2018 (2018-04-26) Absätze [0042] - [0046], [0057]; Ansprüche 1,8; Abbildungen 1-5 -----	1-15
A	AT 6 290 U1 (AVL LIST GMBH [AT]) 25. Juli 2003 (2003-07-25) Seite 3, Absatz 5 - Seite 4, Absatz 2; Anspruch 1; Abbildung 1 -----	1,12,15
A	DE 44 19 429 C2 (MAN B & W DIESEL AG [DE]) 23. Juli 1998 (1998-07-23) in der Anmeldung erwähnt Spalte 3, Zeile 65 - Spalte 4, Zeile 24; Ansprüche 1-11 -----	1,15
	-/--	

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	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
11. November 2020	23/11/2020

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  Boye, Michael
--	--

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2015 202193 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 11. August 2016 (2016-08-11) Absatz [0051]; Ansprüche 1-6; Abbildungen 1,2 -----	1,15
A	EP 2 998 539 A1 (CATERPILLAR MOTOREN GMBH & CO [DE]) 23. März 2016 (2016-03-23) Absätze [0043], [0044], [0047]; Abbildung 2 -----	1-15
X	DE 10 2007 060560 A1 (MAN DIESEL SE [DE]) 18. Juni 2009 (2009-06-18) Ansprüche 1,3; Abbildungen 1-3 -----	1,15
A	WO 2018/141589 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 9. August 2018 (2018-08-09) Ansprüche 1-10; Abbildungen 1-4 -----	1,15

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/074815

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2018066369 A	26-04-2018	JP 6714198 B2 JP 2018066369 A	24-06-2020 26-04-2018
AT 6290	U1 25-07-2003	KEINE	
DE 4419429	C2 23-07-1998	KEINE	
DE 102015202193 A1	11-08-2016	KEINE	
EP 2998539 A1	23-03-2016	CN 106715859 A EP 2998539 A1 US 2017284320 A1 WO 2016041613 A1	24-05-2017 23-03-2016 05-10-2017 24-03-2016
DE 102007060560 A1	18-06-2009	CN 101457687 A CN 103590952 A DE 102007060560 A1 FI 20086183 A JP 2009144707 A KR 20090064298 A	17-06-2009 19-02-2014 18-06-2009 16-06-2009 02-07-2009 18-06-2009
WO 2018141589 A1	09-08-2018	DE 102017201589 A1 WO 2018141589 A1	02-08-2018 09-08-2018