



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 214 700.2**
(22) Anmeldetag: **31.07.2015**
(43) Offenlegungstag: **02.02.2017**

(51) Int Cl.: **F02M 25/00** (2006.01)
F02M 21/02 (2006.01)
F02M 69/46 (2006.01)
F02B 43/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
**MTU Friedrichshafen GmbH, 88045
Friedrichshafen, DE**

(72) Erfinder:
**Boog, Manuel, Dr., 88255 Baidt, DE; Fimml,
Wolfgang, Dr., Hörbranz, AT**

(74) Vertreter:
**Gleiss Große Schrell und Partner mbB
Patentanwälte Rechtsanwälte, 70469 Stuttgart, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

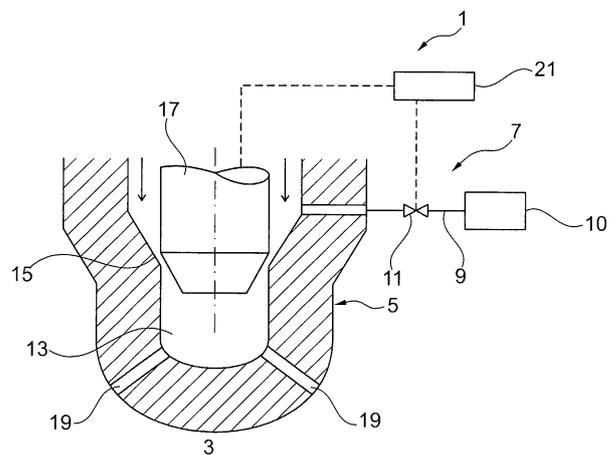
DE	10 2013 013 117	B3
DE	197 46 489	A1
DE	600 20 558	T2
AT	398 808	B

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Brennkraftmaschine sowie Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine (1) mit wenigstens einem Brennraum (3), und mit einer Injektionseinrichtung (5) zum Einbringen eines Brennstoffs in den Brennraum (3). Dabei ist eine Spüleinrichtung (7) vorgesehen, die eingerichtet und angeordnet ist, um der Injektionseinrichtung (5) ein Spülmedium zuzuführen, welches von dem Brennstoff verschieden ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine sowie ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine.

[0002] Bei Brennkraftmaschinen, welche direkt in einen Brennraum eindüsende oder einspritzende Injektionseinrichtungen für Brennstoff besitzen, sind an oder in diesen Injektionseinrichtungen Blindvolumina, insbesondere in Form von Bohrungen oder Löchern, angeordnet, in denen nach Beendigung eines Injektionsvorgangs Brennstoff – beispielsweise in Form von flüssigen Tröpfchen oder in Form von komprimiertem Brenngas bei den zu solchen Zeiten innerhalb eines Arbeitsspiels der Brennkraftmaschine herrschenden Drücken – verbleibt. Diese Restanteile an Brennstoff nehmen an der Verbrennung im Brennraum nicht teil, und expandieren und/oder verdampfen zu einem späteren Zeitpunkt innerhalb eines Expansionstaktes in den Brennraum, wenn dort der Druck auf einen hierfür geeigneten Wert abgefallen ist. Die Verbrennung ist dann aber typischerweise so weit fortgeschritten oder sogar abgeschlossen, dass die nun in den Brennraum gelangenden Restanteile an Brennstoff nicht mehr an der Verbrennung teilnehmen. Sie werden daher gemeinsam mit dem Abgas unverbrannt ausgestoßen. Dies erhöht die Emissionen der Brennkraftmaschine an unverbrannten Kohlenwasserstoffen und kann insbesondere bei Gasmotoren, welche mit methanhaltigen Brennstoffen betrieben werden, stark zur Klimabelastung durch das Abgas der Brennkraftmaschine beitragen, insbesondere weil Methan etwa um einen Faktor 25 klimaschädlicher ist als Kohlendioxid. Grundsätzlich ist es möglich, die unverbrannten Kohlenwasserstoffe insbesondere durch nachgeschaltete Oxidationskatalysatoren im Abgassystem zu entfernen, dies ist allerdings aufwendig und teuer. Demgegenüber sind innermotorische Maßnahmen zur Reduktion des Ausstoßes der Brennkraftmaschine an unverbrannten Kohlenwasserstoffen technisch einfacher, kostengünstig und wünschenswert.

[0003] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Brennkraftmaschine sowie ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine zu schaffen, wobei die genannten Nachteile nicht auftreten.

[0004] Die Aufgabe wird gelöst, indem die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche geschaffen werden. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0005] Die Aufgabe wird insbesondere gelöst, indem eine Brennkraftmaschine geschaffen wird, welche wenigstens einen Brennraum aufweist, sowie eine Injektionseinrichtung zum Einbringen eines Brennstoffs in den Brennraum. Es ist eine Spüleinrichtung vorge-

sehen, die eingerichtet und angeordnet ist, um der Injektionseinrichtung ein Spülmedium zuzuführen, welches von dem Brennstoff verschieden ist. Mittels des Spülmediums, welches durch die Spüleinrichtung der Injektionseinrichtung zuführbar ist, können Restanteile des Brennstoffs aus den Blindvolumina der Injektionseinrichtung zu einem geeigneten Zeitpunkt ausgespült werden, sodass sie an der Verbrennung im Brennraum teilnehmen. Hierdurch können die Emissionen unverbrannter Kohlenwasserstoffe der Brennkraftmaschine mittels einer innermotorischen Maßnahme stark vermindert werden. Insbesondere bei Gasmotoren, welche mit methanhaltigen Brennstoffen betrieben werden, können hierdurch klimaschädliche Methanemissionen stark reduziert werden, ohne dass es dafür einer aufwendigen Abgasnachbehandlung bedarf. Weiterhin wird der Wirkungsgrad der Brennkraftmaschine verbessert, weil ansonsten unverbrannte Restanteile an Brennstoff nun der Verbrennung zugeführt werden, wobei insbesondere die hierdurch freiwerdende Enthalpie beispielsweise im Abgassystem eine Turbine eines Turboladers zur Verfügung stehen kann.

[0006] Bevorzugt ist die Injektionseinrichtung eingerichtet zum Einbringen eines gasförmigen Brennstoffs in den Brennraum. Die Brennkraftmaschine ist vorzugsweise ausgebildet, um mit gasförmigem Brennstoff betrieben zu werden, insbesondere als Gasmotor. Hierbei ergeben sich in ganz besonderer Weise die zuvor erläuterten Vorteile, da gerade Restanteile von gasförmigem Brennstoff, insbesondere von methanhaltigen Brennstoffen, klimarelevant sind, sodass ihre innermotorische Beseitigung durch Spülen und Verbrennen wünschenswert und vorteilhaft ist.

[0007] Unter einer Injektionseinrichtung wird hier insbesondere ein Injektor verstanden, der zur Eindüsung des Brennstoffs in den Brennraum eingerichtet ist. Die Injektionseinrichtung ist vorzugsweise unmittelbar an dem Brennraum derart angeordnet, dass der Brennstoff durch Direkteinspritzen in den Brennraum eingebracht werden kann. Insbesondere ist die Injektionseinrichtung bevorzugt als Injektor zur Direkteinspritzung ausgebildet.

[0008] Unter einer Spüleinrichtung wird insbesondere eine Einrichtung verstanden, welche geeignet ist, ein von dem Brennstoff verschiedenes Spülmedium der Injektionseinrichtung zu einem vorbestimmten Zeitpunkt zuzuführen und so in der Injektionseinrichtung, insbesondere wenigstens einem Blindvolumen derselben, vorhandene Blindvolumina zu spülen.

[0009] Unter einem Brennstoff wird hier insbesondere ein Stoff verstanden, der brennbar und zum Betrieb einer Brennkraftmaschine geeignet ist. Dabei kann es sich um einen Dieselmotorenstoff oder um ei-

nen Ottobrennstoff handeln. Es kann sich bei dem Brennstoff um eine Flüssigkeit, beispielsweise Diesel, Benzin, Dimethylether, einen Alkohol, beispielsweise Ethanol, oder um einen anderen geeigneten flüssigen Brennstoff handeln. Besonders bevorzugt wird allerdings ein gasförmiger Brennstoff verwendet, das heißt ein Brennstoff, der unter Normalbedingungen, also insbesondere bei 1013 mbar und 25 °C oder 298 K, gasförmig ist. Besonders bevorzugt wird ein methanhaltiger, gasförmiger Brennstoff verwendet, insbesondere Erdgas, besonders bevorzugt verflüssigtes Erdgas (Liquefied Natural Gas – LNG) oder komprimiertes Erdgas (Compressed Natural Gas – CNG).

[0010] Unter einem Spülmedium wird insbesondere ein Medium verstanden, welches geeignet ist, um Restanteile an Brennstoff aus Blindvolumina einer Injektionseinrichtung auszuspülen, wobei es sich bei dem Spülmedium um eine Flüssigkeit oder um ein Gas oder ein Gasgemisch handeln kann. Insbesondere weist das Spülmedium vorzugsweise eine geringere Klimarelevanz auf als der Brennstoff, insbesondere als Methan. Typischerweise verbleiben nämlich in den Blindvolumina der Injektionseinrichtung nach dem Spülvorgang Restanteile des Spülmediums, die dann ihrerseits während des Expansionstakts in den Brennraum gelangen können, ohne jedoch an der Verbrennung teilzunehmen, selbst wenn sie grundsätzlich brennbar sein sollten. Diese Restanteile des Spülmediums werden dann mit dem Abgas aus dem Brennraum ausgetragen. Eine Verbesserung in Hinblick auf die Klimaschädlichkeit der Brennkraftmaschine wird dann vorteilhaft in besonderer Weise erhalten, wenn das Spülmedium eine geringere Klimaschädlichkeit aufweist als der Brennstoff und insbesondere als Methan. Das Spülmedium ist vorzugsweise ausgewählt aus einer Gruppe bestehend aus Wasser, einem brennbaren Gas wie Propan, Butan oder Pentan, welches allerdings unter den beim Spülen herrschenden Spülbedingungen in der Injektionseinrichtung bevorzugt flüssig vorliegt, Wasserstoff, einem Inertgas wie beispielsweise Stickstoff, Kohlendioxid oder einem Edelgas, beispielsweise Argon, und einem Verbrennungsgas, insbesondere Abgas aus dem Brennraum selbst. Auch ein Gemisch von Flüssigkeiten und/oder Gasen ist möglich. Das Spülmedium ist vorzugsweise kein Zündstoff oder Pilotbrennstoff, insbesondere kein Diesel oder Dimethylether.

[0011] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Spüleinrichtung eine erste Fluidverbindung zwischen einer Spülmediumquelle für das Spülmedium und der Injektionseinrichtung, insbesondere wenigstens einem Blindvolumen derselben, aufweist. Auf diese Weise ist das Spülmedium von der Spülmediumquelle über die erste Fluidverbindung der Injektionseinrichtung zuführbar. Dabei steht aus der Spülmediumquelle stets Spülmedi-

um zum Spülen der Injektionseinrichtung zur Verfügung. In vorteilhafter Weise ist in der ersten Fluidverbindung eine erste Ventileinrichtung angeordnet, vorzugsweise ein Schaltventil, wobei durch Ansteuerung der ersten Ventileinrichtung ein Spülen der Injektionseinrichtung mit Spülmedium aus der Spülmediumquelle über die erste Fluidverbindung durchgeführt werden kann. Das Schaltventil ist bevorzugt in genau zwei Funktionsstellungen anordenbar, nämlich in einer Offenstellung und in einer Schließstellung. Zum Zwecke des Spülens wird das Schaltventil in seine Offenstellung angesteuert, wobei es in seine Schließstellung angesteuert oder eine Ansteuerung des Schaltventils weggenommen wird, um den Spülvorgang zu beenden. Unter einem „Ansteuern“ kann dabei sowohl ein Beaufschlagen des Schaltventils mit einem Signal als auch das Wegnehmen eines Signals verstanden werden.

[0012] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Fluidverbindung in ein Sackloch der Injektionseinrichtung mündet. Ein solches Sackloch ist typischerweise stromabwärts einer Injektornadel der Injektionseinrichtung zur Eindosierung des Brennstoffs und insbesondere stromabwärts eines Ventilsitzes der Injektionseinrichtung, angeordnet und über Spritzbohrungen mit einer Umgebung der Injektionseinrichtung, hier insbesondere mit dem Brennraum, in Fluidverbindung. Das Sackloch und die Spritzbohrungen stellen typische Blindvolumina einer Injektionseinrichtung dar, in welcher nach Beendigung der Injektion, also insbesondere nach Anordnen der Injektornadel in dem Ventilsitz zum Zwecke des Schließens der Injektionseinrichtung, Restanteile an Brennstoff verbleiben. Diese können insbesondere unabhängig von dem Schließen der Injektionseinrichtung in einfacher, sicherer und vollständiger Weise ausgespült werden, wenn die erste Fluidverbindung direkt in das Sackloch mündet.

[0013] Alternativ oder zusätzlich ist bevorzugt vorgesehen, dass die erste Fluidverbindung in einen Bereich stromaufwärts des Ventilsitzes der Injektionseinrichtung mündet. Dies ermöglicht ein besonders vollständiges Ausspülen von Restanteilen von Brennstoff, da diese quasi von oberhalb der Blindvolumina, nämlich insbesondere oberhalb des Sacklochs und der Spritzbohrungen, ausgespült werden. Der Spülvorgang wird hier bevorzugt zum Ende des Injektionsvorgangs hin durchgeführt, wenn die Injektornadel noch von dem Ventilsitz abgehoben ist und insofern Spülmedium über den Ventilsitz in das Sackloch und die Spritzbohrungen gelangen kann. Der Spülvorgang endet dann bevorzugt zugleich mit dem Injektionsvorgang.

[0014] Insbesondere wird also bevorzugt zunächst die Injektionseinrichtung angesteuert, um den Injektionsvorgang zu starten, wobei die Injektornadel von

dem Ventilsitz abhebt, wobei dann Brennstoff in den Brennraum eingedüst wird, wobei vor Beendigung des Einspritzvorgangs die Spüleinrichtung aktiviert wird, um Spülmedium stromaufwärts des Ventilsitzes in die Injektionseinrichtung einzubringen und Restanteile des Brennstoffs zum Ende des Injektionsvorgangs auszuspülen. Schließlich wird die Injektionseinrichtung geschlossen, indem die Injektornadel auf oder in dem Ventilsitz angeordnet wird, und es wird auch die Spüleinrichtung zur Beendigung des Spülvorgangs angesteuert. Besonders bevorzugt wird dabei zuerst der Injektionsvorgang beendet und dann die Spüleinrichtung zur Beendigung des Spülvorgangs angesteuert, um sicherzustellen, dass nicht noch nach Ende des Spülvorgangs weiterer Brennstoff in die Blindvolumina der Injektionseinrichtung gelangt.

[0015] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Spülmediumquelle als Reservoir, als Zwischenspeicher oder als Anschluss zu einer Spülmediumleitung ausgebildet ist. Unter einem Reservoir wird dabei ein Vorratsbehälter verstanden, in dem Spülmedium auch längerfristig, insbesondere während einer Mehrzahl von Betriebsstunden der Brennkraftmaschine, bevorratet werden kann, wobei vorzugsweise keine dauerhafte Fluidverbindung zu einer Spülmediumleitung besteht, sondern wobei das Reservoir vorzugsweise zum Zwecke des Nachfüllens periodisch oder bedarfsgerecht mit einer Spülmediumleitung in Verbindung gebracht werden kann. Unter einem Zwischenspeicher wird insbesondere ein Spülmediumbehälter verstanden, in welchem Spülmedium innerhalb eines Arbeitsspiels oder für einige, wenige Arbeitsspiele zwischengespeichert werden kann, wobei der Zwischenspeicher in jedem Arbeitsspiel oder nach einigen wenigen Arbeitsspielen mit Spülmedium beschickt wird. Unter einem Anschluss zu einer Spülmediumleitung wird eine dauerhafte Verbindung zu einer extern von der Brennkraftmaschine angeordneten, weiteren Spülmediumquelle verstanden, wobei insbesondere keine Bevorratung von Spülmedium, sondern eine dauerhafte Versorgung mit frischem Spülmedium über den Anschluss aus der Spülmediumleitung erfolgt. Die Ausgestaltung der Spülmediumquelle als Reservoir, als Zwischenspeicher oder als Anschluss zu einer Spülmediumleitung stellt jeweils eine ebenso sichere wie zuverlässige Möglichkeit dar, stets Spülmedium in ausreichender Menge zum Spülen der Injektionseinrichtung zur Verfügung zu haben.

[0016] Das Spülmedium liegt in dem Reservoir, dem Zwischenspeicher oder der Spülmediumleitung vorzugsweise unter Druck vor, insbesondere unter einem als Spüldruck bezeichnenden Druck von mindestens 100 bar, vorzugsweise mindestens 150 bar, vorzugsweise mindestens 200 bar, vorzugsweise mindestens 250 bar, vorzugsweise mindestens 300 bar, vorzugsweise mindestens 350 bar, bevorzugt

höchstens 600 bar. Dabei wird der Spüldruck bevorzugt so auf einen in dem Brennraum während einer Verbrennung herrschenden Druck abgestimmt, dass der Spüldruck zum vorbestimmten Spülzeitpunkt größer ist als ein Zylinderdruck in dem wenigstens einen Brennraum, sodass ein effizienter Spülvorgang in den Brennraum hinein möglich ist.

[0017] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Spülmediumquelle mit dem Brennraum unter Umgehung der Injektionseinrichtung über eine zweite Fluidverbindung fluidverbunden ist. Über die zweite Fluidverbindung ist es insbesondere möglich, Verbrennungsgase aus dem Brennraum in die Spülmediumquelle zu überführen und diese dann schließlich als Spülmedium zu verwenden. Vorzugsweise ist in der zweiten Fluidverbindung eine zweite Ventileinrichtung vorgesehen, welche besonders bevorzugt als Rückschlagventil ausgebildet ist. Bei einer bevorzugten Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die Spülmediumquelle als Zwischenspeicher ausgebildet ist. Es kann dann zu einem ersten Zeitpunkt innerhalb eines Arbeitsspiels, insbesondere eines Verbrennungstakts, bei einem ersten, höheren Druck in dem Brennraum Verbrennungsgas oder Abgas über die zweite Fluidverbindung in den Zwischenspeicher eingespeist werden, wobei zu einem zweiten Zeitpunkt innerhalb desselben Arbeitsspiels, insbesondere desselben Verbrennungstakts, Verbrennungsgas, insbesondere Abgas, aus dem Zwischenspeicher über die erste Fluidverbindung der Injektionseinrichtung zugeführt werden kann, um diese zu spülen, insbesondere bei einem zweiten, niedrigeren Druck in dem Brennraum. Je nach Volumen des Zwischenspeichers ist es möglich, dass dieselben Gasteilchen, welche zu dem ersten Zeitpunkt in den Zwischenspeicher gelangen, zu dem zweiten Zeitpunkt zum Spülen verwendet werden. Es ist aber auch möglich, dass Abgas oder Verbrennungsgas in dem Zwischenspeicher für eine Mehrzahl von Arbeitsspielen zwischengespeichert wird, bevor es wieder über die Injektionseinrichtung durch Spülen in den Brennraum gelangt. Der erste Zeitpunkt und der zweite Zeitpunkt können insbesondere durch die Ausgestaltung der Ventileinrichtungen in der zweiten Fluidverbindung einerseits und in der ersten Fluidverbindung andererseits definiert werden, beispielsweise indem das Rückschlagventil in der zweiten Fluidverbindung eine bestimmte Vorspannung in seine Schließstellung aufweist, die bei einem bestimmten Druck in dem Brennraum überwunden wird. In ähnlicher Weise kann auch die Ventileinrichtung in der ersten Fluidverbindung ausgebildet sein, wobei sie beispielsweise auf einen Differenzdruck zwischen dem Zwischenspeicher und dem Brennraum anspricht. Es ist aber insbesondere auch möglich, dass die erste Ventileinrichtung als Schaltventil ausgebildet ist, sodass der zweite Zeitpunkt aktiv steuerbar ist. Weiterhin ist es möglich, dass beide Ventileinrichtungen als Schaltventile ausgebildet

sind, sodass der erste und der zweite Zeitpunkt aktiv vorgegeben werden können.

[0018] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Brennkraftmaschine ein Steuergerät aufweist, welches eingerichtet ist zur Ansteuerung der Injektionseinrichtung und der Spüleinrichtung, insbesondere der ersten Ventileinrichtung. Mithilfe des Steuergeräts können der Injektionsvorgang für den Brennstoff in den Brennraum und der Spülvorgang über die Spüleinrichtung in definierter Weise aufeinander abgestimmt und zu vorbestimmten Zeitpunkten innerhalb eines Arbeitsspiels der Brennkraftmaschine durchgeführt werden.

[0019] Es ist möglich, dass ein separates Steuergerät zur Ansteuerung der Injektionseinrichtung und der Spüleinrichtung vorgesehen ist. Es ist aber auch möglich, dass das Steuergerät als zentrales Steuergerät der Brennkraftmaschine ausgebildet ist, insbesondere als Motorsteuergerät (Engine Control Unit – ECU). Weiterhin ist es möglich, dass die Funktionalität des Steuergeräts in ein zentrales Steuergerät der Brennkraftmaschine, insbesondere in das Motorsteuergerät, implementiert ist.

[0020] Die Brennkraftmaschine kann grundsätzlich für beliebige, direkteinspritzende Verbrennungskonzepte ausgestaltet sein, beispielsweise ein Gas-Diesel-Konzept, eine ottomotorisch-geschichtete Ladung mit gasförmigen und flüssigen Brennstoffen, oder für andere, geeignete Konzepte und Brennverfahren.

[0021] Bevorzugt ist die Brennkraftmaschine als Gasmotor ausgebildet.

[0022] Die Brennkraftmaschine ist vorzugsweise als Hubkolbenmotor ausgebildet. Es ist möglich, dass die Brennkraftmaschine zum Antrieb eines Personenkraftwagens, eines Lastkraftwagens oder eines Nutzfahrzeugs eingerichtet ist. 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 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 stationäre Anwendung der Brennkraftmaschine zum Antrieb von Hilfsaggregaten, beispielsweise von Feuerlöschpumpen auf Bohrinseln, ist möglich. Weiterhin ist eine Anwendung der Brennkraftmaschine im Be-

reich 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 Baumaschine, zum Beispiel in einem Kran oder einem Bagger, ist möglich. Die Brennkraftmaschine ist vorzugsweise als Dieselmotor, als Benzinmotor, als Gasmotor zum Betrieb mit Erdgas, Biogas, Sondergas oder einem anderen geeigneten Gas, ausgebildet. Insbesondere wenn die Brennkraftmaschine als Gasmotor ausgebildet ist, ist sie für den Einsatz in einem Blockheizkraftwerk zur stationären Energieerzeugung geeignet.

[0023] Die Aufgabe wird auch gelöst, indem ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine geschaffen wird, insbesondere ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine nach einem der zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiele, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist: Es wird ein Brennstoff, insbesondere ein gasförmiger Brennstoff, über eine Injektionseinrichtung in wenigstens einen Brennraum der Brennkraftmaschine eingebracht. In den wenigstens einen Brennraum wird durch die Injektionseinrichtung ein Spülmedium, welches von dem Brennstoff verschieden ist, zugeführt, und Restanteile des Brennstoffs werden aus wenigstens einem Blindvolumen der Injektionseinrichtung in den Brennraum mit dem Spülmedium ausgespült. In Zusammenhang mit dem Verfahren ergeben sich insbesondere die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit der Brennkraftmaschine erläutert wurden.

[0024] Unter einem Blindvolumen wird dabei insbesondere ein Volumen der Injektionseinrichtung verstanden, welches dauerhaft – unabhängig von einem Schaltzustand der Injektionseinrichtung – mit dem Brennraum in Fluidverbindung ist, insbesondere ein Sackloch und/oder wenigstens eine Spritzbohrung.

[0025] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Spülmedium der Injektionseinrichtung nach oder während eines Aktivierens der Injektionseinrichtung zugeführt wird. Insbesondere dann, wenn die erste Fluidverbindung der Spüleinrichtung stromabwärts eines Ventilsitzes in die Injektionseinrichtung mündet, beispielsweise in ein Sackloch der Injektionseinrichtung, wird das Spülmedium der Injektionseinrichtung bevorzugt nach dem Aktivieren der Injektionseinrichtung zugeführt, insbesondere nach Injektionsende. Mündet dagegen die erste Fluidverbindung stromaufwärts des Ventilsitzes in die Injektionseinrichtung, wird das Spülmedium dieser bevorzugt noch während des Aktivierens der Injektionseinrichtung, insbesondere zum Ende des Injektionsvorgangs, zugeführt.

[0026] Bevorzugt wird der Spülvorgang so durchgeführt, dass er kurz nach dem Erreichen eines obe-

ren Totpunkts (OT) eines in dem Brennraum verlagerten Kolbens zwischen einem Kompressionstakt und einem Arbeitstakt oder Expansionstakt, der auch als Zünd-OT bezeichnet wird, abgeschlossen ist. Vorzugsweise ist der Spülvorgang abgeschlossen – angegebenen in Grad Kurbelwellenwinkel (°KW) – höchstens 40 °KW nach dem Zünd-OT, vorzugsweise höchstens 35 °KW nach dem Zünd-OT, vorzugsweise höchstens 30 °KW nach dem Zünd-OT, vorzugsweise höchstens 25 °KW nach dem Zünd-OT, vorzugsweise höchstens 20 °KW nach dem Zünd-OT, vorzugsweise höchstens 15 °KW nach dem Zünd-OT, vorzugsweise höchstens 10 °KW nach dem Zünd-OT, vorzugsweise höchstens 5 °KW nach dem Zünd-OT. Durch Spülen zu einem so frühen Zeitpunkt und entsprechend frühem Abschließen des Spülvorgangs kann gewährleistet werden, dass die ausgespülten Restgasanteile vollständig an der Verbrennung in dem Brennraum teilnehmen, sodass die Emissionen von unverbrannten Kohlenwasserstoffen durch die Brennkraftmaschine sehr effizient reduziert werden.

[0027] Es ist möglich, dass im Rahmen des Verfahrens durch die Injektionseinrichtung pro Arbeitsspiel der Brennkraftmaschine eine Einspritzung in den Brennraum durchgeführt wird. Es ist aber auch möglich, dass eine Mehrfacheinspritzung durchgeführt wird. In diesem Fall wird bevorzugt der Spülvorgang nach einem letzten Einspritzereignis eines Arbeitsspiels, nach einer Haupteinspritzung, insbesondere nur nach einer Haupteinspritzung, oder aber nach jeder Einspritzung, beispielsweise nach einer Voreinspritzung, einer Haupteinspritzung und einer Nacheinspritzung, durchgeführt. Es kann so sichergestellt werden, dass höchstens geringe Restanteile an Brennstoff in Blindvolumina der Injektionseinrichtung verbleiben, welche nicht an der Verbrennung teilnehmen.

[0028] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass als Spülmedium eine Flüssigkeit oder ein Gas verwendet wird. Es ist auch möglich, dass als Spülmedium eine Flüssigkeitsmischung oder eine Gasmischung verwendet wird. Besonders bevorzugt wird ein Gas verwendet, welches eine geringere Klimaschädlichkeit aufweist als Methan. In bevorzugter Weise kann das Spülmedium ausgewählt sein aus einer Gruppe bestehend aus Wasser, Propan, Butan, Pentan, Wasserstoff, einem Inertgas, insbesondere Stickstoff, Kohlendioxid, Argon, und Luft. Insbesondere Umgebungsluft der Brennkraftmaschine kann als Spülmedium verwendet werden. Vorzugsweise wird kein Zündstoff oder Pilotbrennstoff als Spülmedium verwendet, insbesondere kein Diesel oder Dimethylether.

[0029] Alternativ oder zusätzlich wird bevorzugt Abgas oder Verbrennungsgas aus dem wenigstens einen Brennraum als Spülmedium verwendet.

[0030] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist bevorzugt vorgesehen, dass Abgas während der Verbrennung bei einem ersten, höheren Druck in einen Zwischenspeicher gespeichert und bei einem zweiten, niedrigeren Druck aus dem Zwischenspeicher der Injektionseinrichtung als Spülmedium zugeführt wird. Insbesondere kann Abgas zum Zeitpunkt eines maximalen Zylinderdrucks, insbesondere eines Zylinderspitzenendrucks, in den Zwischenspeicher eingespeichert, und zu einem späteren Zeitpunkt, wenn der Druck in dem Brennraum abgefallen ist, jedoch noch während der Verbrennung, aus dem Zwischenspeicher als Spülmedium der Injektionseinrichtung zugeführt werden, und zwar zu einem Zeitpunkt, zu welchem die aus der Injektionseinrichtung ausgetriebenen Restanteile von Brennstoff noch an der Verbrennung in dem Brennraum teilnehmen. Insbesondere abhängig von dem Volumen des Zwischenspeichers kann die Einspeicherung und die Zuführung als Spülmedium innerhalb desselben Arbeitsspiels, oder aber auch in verschiedenen Arbeitsspielen erfolgen. Insbesondere in letztem Fall wirkt der Zwischenspeicher dann als Puffer für das als Spülmittel dienende Abgas.

[0031] 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 eines erfindungsgemäßen oder bevorzugten Ausführungsbeispiels der Brennkraftmaschine bedingt ist. Die Brennkraftmaschine zeichnet sich bevorzugt durch wenigstens ein Merkmal aus, welches durch wenigstens einen Schritt einer erfindungsgemäßen oder bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens bedingt ist.

[0032] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

[0033] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine, und

[0034] Fig. 2 eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels der Brennkraftmaschine.

[0035] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer Brennkraftma-

schine **1**. Diese weist wenigstens einen Brennraum **3** auf. Es ist möglich, dass die Brennkraftmaschine **1** eine Mehrzahl von Brennräumen, insbesondere eine Mehrzahl von Zylindern aufweist, insbesondere vier, sechs, acht, zehn, zwölf, vierzehn, sechzehn, achtzehn, zwanzig oder vierundzwanzig Zylinder. Die Brennkraftmaschine **1** kann als Reihenmotor, als V-Motor, als W-Motor oder in einer anderen Konfiguration von Brennräumen **3** ausgebildet sein.

[0036] Vorzugsweise ist die Brennkraftmaschine **1** als Hubkolbenmotor ausgebildet, wobei in dem Brennraum **3** in für sich genommen bekannter Weise ein Kolben verlagerbar angeordnet ist.

[0037] Dem Brennraum **3** ist eine Injektionseinrichtung **5** zugeordnet, durch welche ein vorzugsweise gasförmiger Brennstoff dem Brennraum **3** mittels Direkteinspritzung zuführbar ist. Es ist weiterhin eine Spüleinrichtung **7** vorgesehen, die eingerichtet und angeordnet ist, um der Injektionseinrichtung **5** ein Spülmedium zuzuführen, welches von dem Brennstoff verschieden ist.

[0038] Dabei weist die Spüleinrichtung **7** insbesondere eine erste Fluidverbindung **9** zwischen einer Spülmediumquelle **10** für das Spülmedium und der Injektionseinrichtung **5** auf. In der ersten Fluidverbindung **9** ist eine erste Ventileinrichtung **11** angeordnet, die bevorzugt als Schaltventil ausgebildet ist.

[0039] Bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel mündet die erste Fluidverbindung **9** stromaufwärts eines Sacklochs **13** und insbesondere stromaufwärts eines Ventilsitzes **15** in die Injektionseinrichtung **5**. Die Injektionseinrichtung **5** weist eine Injektornadel **17** auf, welche in einer Schließstellung der Injektionseinrichtung **5** in dem Ventilsitz **15** angeordnet ist und dort dicht anliegt. Zum Öffnen der Injektionseinrichtung **5** kann die Injektornadel **17** von dem Ventilsitz **15** in für sich genommen bekannter Weise abgehoben werden.

[0040] Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass die erste Fluidverbindung **9** – stromabwärts des Ventilsitzes **15** – in das Sackloch **13** mündet. Eine solche Ausgestaltung ermöglicht eine etwas freiere Bestimmung des Zeitpunkts des Spülens der Injektionseinrichtung **5**, weil dieses auch bei in der Schließstellung angeordneter Injektornadel **17** erfolgen kann. Andererseits ermöglicht eine Mündung der ersten Fluidverbindung **9** in die Injektionseinrichtung **5** stromaufwärts des Ventilsitzes **15** eine besonders gründliche Spülung des Sacklochs **13**, quasi von oben her, so dass dieses insgesamt vollständig ausgespült wird.

[0041] Das Sackloch **13** ist über Spritzbohrungen **19** – unabhängig von einer momentanen Funktionsstellung der Injektionseinrichtung **5** – dauerhaft mit dem Brennraum **3** über die Spritzbohrungen **19** in Fluid-

verbindung. Insbesondere stellen das Sackloch **13** und die Spritzbohrungen **19** Blindvolumina der Injektionseinrichtung **5** dar, in welchen Restanteile des Brennstoffs verbleiben würden, wenn sie nicht mittels der Spüleinrichtung **7** ausgespült werden.

[0042] Die Spülmediumquelle **10** ist bei dem hier dargestellten, ersten Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine **1** bevorzugt als Reservoir, insbesondere als Vorratsbehälter oder Vorrattank ausgebildet, in welchem dauerhaft, insbesondere für eine Vielzahl von Betriebsstunden der Brennkraftmaschine **1**, Spülmedium – vorzugsweise unter Druck – gespeichert werden kann. Das Reservoir ist dabei bedarfsabhängig oder in periodischen Abständen mit einer Spülmediumleitung zum Nachfüllen verbindbar. Alternativ ist es auch möglich, dass die Spülmediumquelle **10** als Anschluss zu einer Spülmediumleitung ausgebildet ist, sodass fortwährend frisches Spülmedium aus der Spülmediumleitung nachgeführt werden kann.

[0043] Die Brennkraftmaschine **1** weist ein Steuergerät **21** auf, welches einerseits mit der Injektionseinrichtung **5** und andererseits mit der ersten Ventileinrichtung **11** wirkverbunden ist, sodass einerseits die Injektionseinrichtung **5** und andererseits die erste Ventileinrichtung **11** und damit die Spüleinrichtung **7** durch das Steuergerät ansteuerbar sind. Somit können insbesondere Zeitpunkte einerseits für die Injektion von Brennstoff und andererseits für das Spülen der Injektionseinrichtung **5** mit Spülmedium durch das Steuergerät **21** vorgegeben werden.

[0044] Die Injektionseinrichtung **5** ist außerdem mit einer hier nicht dargestellten Brennstoffquelle fluidverbunden, sodass der Injektionseinrichtung **5** oberhalb, also stromaufwärts des Ventilsitzes **15**, Brennstoff, vorzugsweise gasförmiger Brennstoff, zuführbar ist.

[0045] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels der Brennkraftmaschine **1**. Gleiche und funktionsgleiche Elemente sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die vorangegangene Beschreibung verwiesen wird. In Fig. 2 ist auch ein Kolben **23** dargestellt, der in dem Brennraum **3** verlagerbar ist. Einen solchen Kolben weist auch das erste Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine **1** gemäß Fig. 1 auf.

[0046] Weiterhin ist in Fig. 2 eine Brennstoffzufuhr **25** zu der Injektionseinrichtung **5** explizit dargestellt. Selbstverständlich und wie bereits ausgeführt weist auch das erste Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine eine solche Brennstoffzufuhr auf.

[0047] Im Unterschied zu dem ersten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 ist bei dem zweiten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 die Spülmediumquelle **10**

als Zwischenspeicher ausgebildet, wobei die Spülmediumquelle **10** über eine zweite Ventileinrichtung **27** sowie über eine zweite Fluidverbindung **29** mit dem Brennraum **3** unter Umgehung der Injektionseinrichtung **5** fluidverbunden ist. Insbesondere sind die erste Fluidverbindung **9** und die zweite Fluidverbindung **29** parallel zueinander angeordnet. Die zweite Ventileinrichtung **27** ist in der zweiten Fluidverbindung **29** zwischen dem Brennraum **3** und der Spülmediumquelle **10** angeordnet. Vorzugsweise ist die zweite Ventileinrichtung **27** als Rückschlagventil ausgebildet und in eine Schließstellung in Richtung des Brennraums **3** vorgespannt, wobei insbesondere ein Ventilkörper der zweiten Ventileinrichtung **27** unter Vorspannung in einen Ventilsitz in Richtung des Brennraums **3** gedrängt wird. Die zweite Ventileinrichtung **27** öffnet dann, wenn ein Druck in dem Brennraum **3** um einen bestimmten Differenzbetrag höher ist als ein Druck in der Spülmediumquelle **10**, wobei der bestimmte Differenzbetrag durch die Vorspannung der zweiten Ventileinrichtung **27** bestimmt ist.

[0048] Die erste Ventileinrichtung **11** ist auch bei dem hier dargestellten, zweiten Ausführungsbeispiel bevorzugt als Schaltventil ausgebildet, welches durch das nicht dargestellte Steuergerät **21** ansteuerbar ist.

[0049] Die Funktionsweise des zweiten Ausführungsbeispiels der Brennkraftmaschine **1** ist Folgende:

Zu einem ersten Zeitpunkt, bei einem ersten, höheren Druck in dem Brennraum **3**, insbesondere bevorzugt bei einem Zylinderspitzendruck, öffnet die zweite Ventileinrichtung **27**, und es wird Abgas aus dem Brennraum **3** in den Zwischenspeicher der Spülmediumquelle **10** eingespeichert. Fällt der Druck in dem Brennraum **3**, und nimmt infolgedessen die Druckdifferenz zwischen dem Zwischenspeicher und dem Brennraum **3** ab, schließt die zweite Ventileinrichtung **27** wieder. Zu einem zeitlich nachgelagerten, zweiten Zeitpunkt, bei einem zweiten, niedrigeren Druck in dem Brennraum **3**, wird die erste Ventileinrichtung **11** geöffnet, vorzugsweise angesteuert durch das Steuergerät **21** oder – bei einem anderen Ausführungsbeispiel – differenzdruckgetrieben durch eine Druckdifferenz zwischen dem Zwischenspeicher und dem Brennraum **3**, wobei in diesem Fall vorzugsweise der Druck in dem Zwischenspeicher höher ist als der Druck in dem Brennraum **3**, und es wird Abgas als Spülmedium aus der Spülmediumquelle **10**, also dem Zwischenspeicher, über die erste Fluidverbindung **9** der Injektionseinrichtung **5** zugeführt, wobei deren Blindvolumina mit Abgas gespült werden.

[0050] Insgesamt zeigt sich, dass mithilfe der Brennkraftmaschine **1** und dem Verfahren Emissionen unverbrannter Kohlenwasserstoffe innermotorisch stark vermindert werden, wodurch insbesondere eine Kli-

maschädlichkeit der Emissionen von Gasmotoren deutlich herabgesetzt werden kann. Eine aufwändige Abgasnachbehandlung kann dabei entfallen. Ansonsten unverbrannte Gasmengen werden der Verbrennung zugeführt.

Patentansprüche

1. Brennkraftmaschine (**1**) mit wenigstens einem Brennraum (**3**), und mit einer Injektionseinrichtung (**5**) zum Einbringen eines Brennstoffs in den Brennraum (**3**), gekennzeichnet durch eine Spüleinrichtung (**7**) die eingerichtet und angeordnet ist, um der Injektionseinrichtung (**5**) ein Spülmedium zuzuführen, welches von dem Brennstoff verschieden ist.

2. Brennkraftmaschine (**1**) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spüleinrichtung (**7**) eine erste Fluidverbindung (**9**) zwischen einer Spülmediumquelle (**10**) für das Spülmedium und der Injektionseinrichtung (**5**) aufweist.

3. Brennkraftmaschine (**1**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Fluidverbindung (**9**) in ein Sackloch (**13**) der Injektionseinrichtung (**5**) und/oder in einen Bereich stromaufwärts eines Ventilsitzes (**15**) der Injektionseinrichtung (**5**) mündet.

4. Brennkraftmaschine (**1**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spülmediumquelle (**10**) als Reservoir, als Zwischenspeicher, oder als Anschluss zu einer Spülmediumleitung ausgebildet ist.

5. Brennkraftmaschine (**1**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spülmediumquelle (**10**) – vorzugsweise über eine zweite Ventileinrichtung (**27**) – mit dem Brennraum (**3**) unter Umgehung der Injektionseinrichtung (**5**) über eine zweite Fluidverbindung (**29**) fluidverbunden ist.

6. Brennkraftmaschine (**1**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch ein Steuergerät (**21**), eingerichtet zur Ansteuerung der Injektionseinrichtung (**5**) und der Spüleinrichtung (**7**).

7. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (**1**), insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 6, mit folgenden Schritten:

– Einbringen eines Brennstoffs über eine Injektionseinrichtung (**5**) in wenigstens einen Brennraum (**3**) der Brennkraftmaschine (**1**);

– Zuführen eines von dem Brennstoff verschiedenen Spülmediums durch die Injektionseinrichtung (**5**) in den wenigstens einen Brennraum (**3**), und

– Ausspülen von Restanteilen des Brennstoffs aus wenigstens einem Blindvolumen der Injektionsein-

richtung (5) in den Brennraum (3) mit dem Spülmedium.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Spülmedium der Injektionseinrichtung (5) nach oder während eines Aktivierens der Injektionseinrichtung (5) zugeführt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 und 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Spülmedium eine Flüssigkeit oder ein Gas, insbesondere ein Gas mit geringerer Klimarelevanz als Methan, und/oder Abgas aus dem wenigstens einen Brennraum (3) verwendet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abgas während der Verbrennung bei einem ersten, höheren Druck in einem Zwischenspeicher gespeichert, und bei einem zweiten, niedrigeren Druck in dem Brennraum (3) aus dem Zwischenspeicher der Injektionseinrichtung (5) als Spülmedium zugeführt wird.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

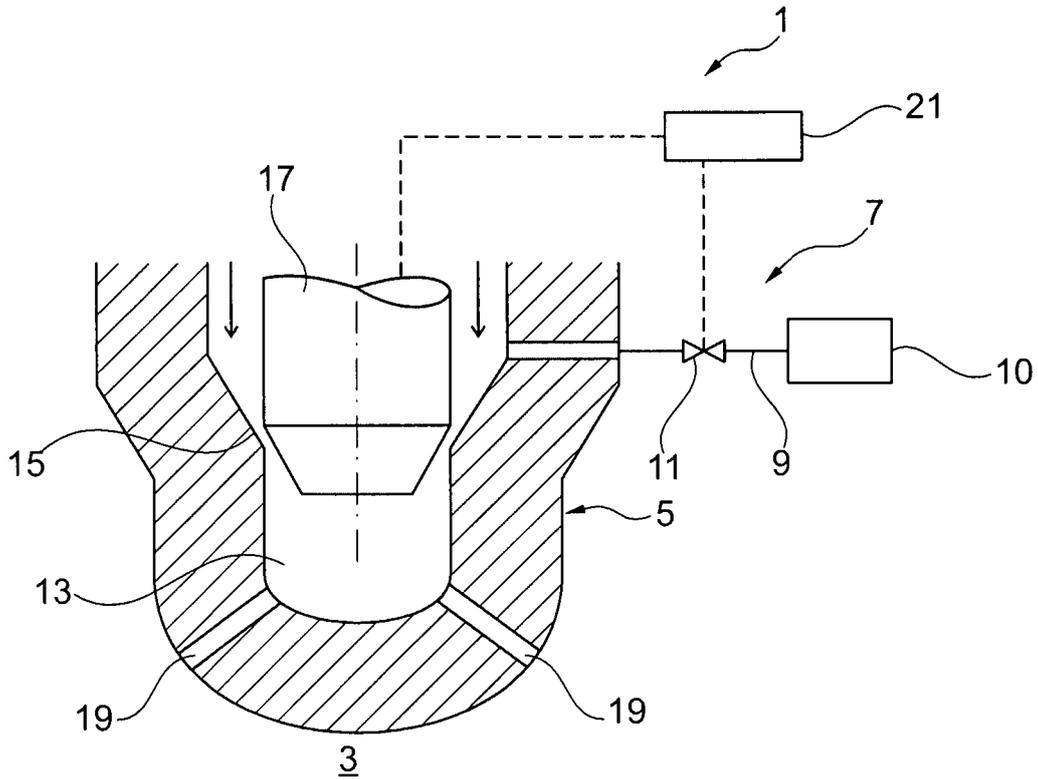


Fig. 1

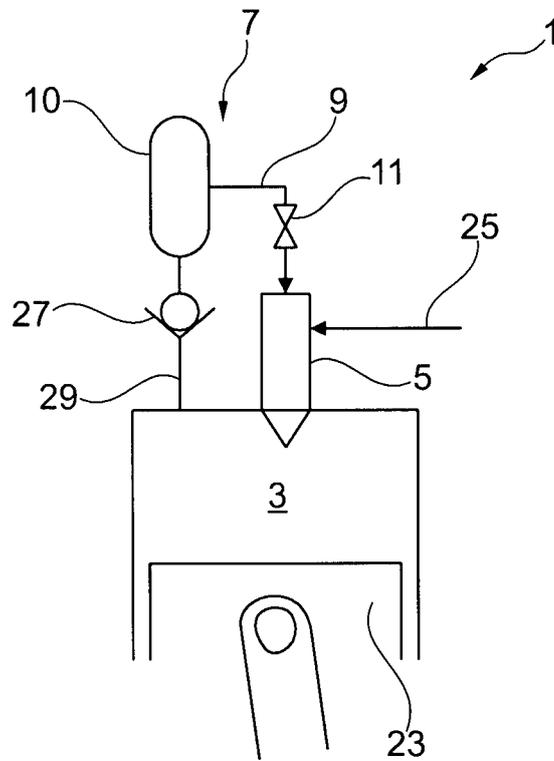


Fig. 2