



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 100 52 336 B4 2004.04.22**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **100 52 336.6**
 (22) Anmeldetag: **22.10.2000**
 (43) Offenlegungstag: **02.05.2002**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **22.04.2004**

(51) Int Cl.7: **F02B 43/00**
F02M 21/02, F02D 41/30, F02P 23/00

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(62) Teilung in:
100 66 206.4

(71) Patentinhaber:
Westport Germany GmbH, 44139 Dortmund, DE

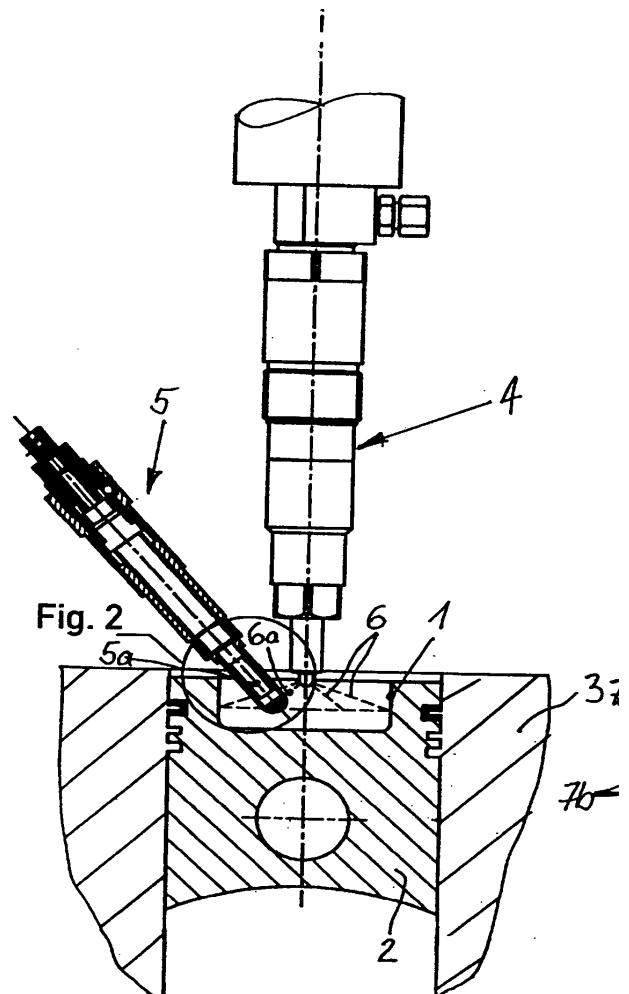
(74) Vertreter:
Patentanwälte Gesthuysen, von Rohr & Eggert,
45128 Essen

(72) Erfinder:
Hilger, Ulrich, Prof. Dr.-Ing., 45138 Essen, DE;
Bartunek, Bernd, Dr.-Ing., 40789 Monheim, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 42 43 984 A1
DE 36 31 473 A1
US 53 29 908 A
EP 03 71 759 A2

(54) Bezeichnung: **Brennkraftmaschine mit Einblasung von gasförmigem Kraftstoff**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Betreiben einer luftverdichtenden Brennkraftmaschine, die zumindest einen eine Brennraummulde beinhaltenen Kolben aufweist, der in einem von einem Zylinderkopf unter Bildung eines Arbeitsraumes abgedeckten Zylinder bewegbar ist, wobei in dem Zylinderkopf eine zu der Brennraummulde im wesentlichen zentrisch ausgerichtete Gaseinblasedüse, durch die ein brennbarer gasförmiger Kraftstoff in den Arbeitsraum eingebracht wird, sowie eine in geringem Abstand zur Gaseinblasedüse angebrachte, in die Brennraummulde hineinragende Zündvorrichtung angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein aus einer Kraftstoffaustrittsöffnung (6) der Gaseinblasedüse (4) austretender Kraftstoffstrahl auf die Zündvorrichtung (5) derart ausgerichtet ist, dass der Kraftstoffstrahl in dem Bereich von zumindest einer Brennstoffdurchtrittsöffnung (7) auftritt, die in eine die Zündvorrichtung (5) umgebende Abschirmhülse (8) eingelassen ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Betreiben einer luftverdichtenden Brennkraftmaschine, die zumindest einen eine Brennraummulde beinhaltenden Kolben aufweist, der in einem von einem Zylinderkopf unter Bildung eines Arbeitsraumes abgedeckten Zylinder bewegbar ist, wobei in dem Zylinderkopf eine zu der Brennraummulde im wesentlichen zentrisch ausgerichtete Gaseinblasedüse, durch die ein brennbarer, gasförmiger Kraftstoff in den Arbeitsraum eingebracht wird sowie eine in geringem Abstand zur Gaseinblasedüse angebrachte, in die Brennraummulde hineinragende Zündvorrichtung angeordnet ist. Weiterhin betrifft die Erfindung eine entsprechend ausgebildete Brennkraftmaschine.

[0002] Eine derartige Brennkraftmaschine ist aus der US 5,329,908 A bekannt. Die Gaseinblasedüse ist so ausgebildet, dass der gasförmige Kraftstoff sich beim Einblasevorgang durch eine dann gebildete ringförmige Austrittsöffnung als Wolke in die Brennraummulde ausbreitet. Ein Teil der Wolke trifft dabei auf eine Zündvorrichtung in Form einer Glühkerze und das sich bildende Gas-Luftgemisch wird an der Glühkerze entzündet. Ist hierbei der Gasdruck hoch genug, erfolgt die Gaseinblasung kurz vor dem oberen Totpunkt, um so bei inhomogener Gemischbildung einen dem Dieselmotor vergleichbaren Wirkungsgrad zu erzielen. Sinkt jedoch der Druck des gasförmigen Kraftstoffs unter einen vorgegebenen Wert, z. B. unter 2.000 psi (137 bar) ab, wird von einem Steuergerät der Einblasebeginn und die Einblasedauer in den Bereich des unteren Totpunkts des jeweiligen Kolbens in dem entsprechenden Zylinder verlegt, um einen gegenüber dem Zylinderinnen- druck ausreichend hohen Gasdruck zu erreichen und so ein Einströmen des gasförmigen Kraftstoffes in den Zylinder sicherzustellen. Hierbei wird ein für die ottomotorische Verbrennung typisches homogenes Gemisch gebildet, dass durch die bestehende Neigung zu klopfender Verbrennung ein gegenüber Verbrennungsverfahren mit inhomogener Brennstoff-Luft-Gemischbildung erheblich reduziertes Verdichtungsverhältnis erfordert. Da die Brennkraftmaschine mit einem konstanten Verdichtungsverhältnis betrieben wird, richtet sich das zu wählende Verdichtungsverhältnis nach der Betriebsart mit der höchsten Klopfneigung, also bei homogener Gemischbildung. Dadurch sind sowohl ein unzuverlässiger, nicht aussetzerfreier Betrieb dieser Brennkraftmaschine besonders unter den für den Fahrzeugbetrieb typischen instationären Betriebsbedingungen als auch ein nicht optimales Vollastwirkungsgradverhalten gegeben.

[0003] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Brennkraftmaschine sowie eine entsprechend ausgebildete Brennkraftmaschine anzugeben, mit dem unter allen Betriebsbedingungen ein zuverlässi-

ger und sehr schadstoffarmer Betrieb bei gleichzeitig für selbstzündende Brennkraftmaschinen typischen hohen Wirkungsgraden möglich ist.

[0004] Dieser Aufgabe liegt zunächst einmal die Erkenntnis zugrunde, dass die Verminderung der Schadstoffemissionen von Dieselmotoren einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität, besonders im innerstädtischen Bereich bzw. in Ballungsräumen darstellt. Hierzu können, insbesondere wegen der erheblich geringeren Partikel- und Stickoxidemissionen sowie dem deutlich verminderten Beitrag zur Smogbildung der Einsatz schadstoffarmer Erdgasmotoren eine deutliche Reduzierung der Schadstoffbelastung bewirken.

[0005] Heutige in Nutzfahrzeugen eingesetzte Gasmotoren arbeiten nach dem Otto-Verfahren mit homogener Gemischbildung, Fremdzündung und Drosselregelung. und werden wegen der im Nutzfahrzeugbereich erforderlichen Leistungs- und Drehmomentcharakteristik, überwiegend von konventionellen Dieselmotoren abgeleitet. Das gegenüber dem Dieselmotor geänderte Gemischbildungsverfahren sowie die Fremdzündung erfordern Modifikationen an Ansaugsystem und Zylinderkopf. Aufgrund des geänderten Verbrennungsprozesses ist außerdem eine geänderte Brennraummulde im Kolben erforderlich. Die Motorenhersteller sind meistens bestrebt die Anzahl der an den Gasbetrieb anzupassenden Motorkomponenten so gering wie möglich zu halten. Hierdurch wird versucht, möglichst unter Beibehaltung der für konventionelle Nutzfahrzeugmotoren üblichen hohen Anforderungen an die Dauerhaltbarkeit die höheren Herstellungskosten für Gasmotoren in Grenzen zu halten.

[0006] Da Nutzfahrzeug-Gasmotoren anfänglich vor allem unter dem Gesichtspunkt niedriger Schadstoffemissionen eingesetzt wurden, wurden überwiegend mit stöchiometrischem Gas-Luftgemisch arbeitende Verbrennungsverfahren in Verbindung mit einem Dreiwegkatalysator eingesetzt. Die Gaszumischung erfolgte meist durch einen zentral im Ansaugsystem angeordneten Gasmischer mit elektronisch geregelter Gaszufuhr. Bei neueren Gassystemen wird zur Verbesserung der Gemischgleichverteilung und der Einhaltung der stöchiometrischen Gemischzusammensetzung bei instationärem Motorbetrieb auf eine "Multipoint" Einblasung vor das Einlassventil eines jeden Zylinders übergegangen. Zur Einhaltung des für den Dreiwegkatalysatorbetrieb erforderlichen stöchiometrischen ($\lambda = 1$) Gas-Luftgemisches wird die von Benzinmotoren her bekannte "Closed-Loop" Lambda-Regelung mittels Sauerstoffsensoren eingesetzt. Das Verdichtungsverhältnis wird im allgemeinen zur Sicherstellung einer ausreichenden Sicherheit gegenüber klopfender Verbrennung auf Werte von 11 bis 11,5 begrenzt.

[0007] Die mit nicht aufgeladenen $\lambda = 1$ -geregelt Gasmotoren erreichbare Leistung liegt, aufgrund der Verminderung des vom Motor angesaugten Luftvolumens durch das im Saugrohr zugemischte Gas, um

etwa 5% unter der dem Niveau vergleichbarer Saugdieselmotoren. Im Vergleich zu den heute üblichen aufgeladenen Dieselmotoren ergeben sich unter Berücksichtigung der grundsätzlich höheren thermischen Belastung bei Gasmotoren Minderleistungen von bis zu 15%. Hierbei ist schon die durch die zusätzliche Anwendung der Abgasrückführung mit AGR-Raten von bis zu 15% mögliche Absenkung der thermischen Belastung berücksichtigt. Ein vollständiger Ausgleich der Minderleistung bei Gasmotoren läßt sich nur über eine Vergrößerung des Hubraumes erreichen.

[0008] Das Verbrauchsverhalten von für $\lambda = 1$ -geregelten Nutzfahrzeug- Gasmotoren ist verfahrensbedingt durch einen gegenüber vergleichbaren Dieselmotoren energetischen Mehrverbrauch von 15 bis 20% im stationären 13-Stufen Test gekennzeichnet. Bei Betrieb mit hohen Niedriglastanteilen, wie z.B. für den Stadtbetrieb typisch, wurden aufgrund der Drosselregelung sogar Mehrverbräuche von über 40% ermittelt.

[0009] Die bei stöchiometrisch geregelten Gasmotoren gegenüber heutigen Dieselmotoren bestehenden Leistungs- und Verbrauchsnachteile lassen sich durch den Einsatz von Magermotorkonzepten deutlich reduzieren. Die Gemischbildung erfolgt meist in Strömungsrichtung hinter dem Turbolader durch einen zentral im Ansaugsystem angeordneten elektronisch geregelten Gasmischer. Bei Verdichtungsverhältnissen von 11 bis 11,5 weist der Magermotor grundsätzlich ähnliche Brennraumgeometrien auf wie sie bei $\lambda = 1$ -geregelten Motoren üblich sind. Aufgrund der mit zunehmender Abmagerung des Erdgas-Luftgemisches stark abnehmenden Verbrennungsgeschwindigkeit muss durch eine geeignete Abstimmung z.B. der Quetschspaltströmung einer zu stark verschleppten Verbrennung mit entsprechend erhöhten HC Emissionen entgegengewirkt werden. Die mit heutigen Magermotoren realisierbaren Luftverhältnisse liegen bei hohen Motorlasten und damit höheren Brenngeschwindigkeiten nicht über $\lambda = 1,5$. Bei niedrigeren Motorlasten wird jedoch die Magerlauffähigkeit entsprechend dem niedrigeren Verbrennungstemperaturniveau auf λ -Werte von 1,1 bis 1,3 begrenzt.

[0010] Die bei Magermotoren geringere thermische Bauteilbelastung erlaubt im Vergleich zu $\lambda = 1$ -geregelten Gasmotoren eine deutliche Anhebung der Ladedrücke, so dass in Verbindung mit Ladeluftkühlung effektive Mitteldrücke von bis zu 14 bar möglich sind. Damit entspricht der Drehmomentverlauf weitgehend dem einer großen Anzahl heute auf dem Markt befindlicher Dieselmotoren. Im Vergleich zu dem bei Euro 3 Dieselmotoren erreichten Leistungsniveau treten bei Magergasmotoren immer noch zum Teil erhebliche Leistungseinbußen auf.

[0011] Da die Abmagerungsfähigkeit heutiger Mager-Gasmotoren besonders im unteren Teillastbereich durch einen schleppenden Verbrennungsablaufes von Erdgas auf λ -Werte von 1,2 bis 1,4 be-

schränkt ist, ist auch bei diesen Motoren eine Drosselregelung erforderlich. Dementsprechend werden im ECE R49 Abgastest gegenüber vergleichbaren Dieselmotoren je nach Auslegung des Motorkonzeptes mehr als 15% höhere Verbrauchswerte festgestellt. Im praktischen Fahrbetrieb z.B. eines Linienbusses, ergeben sich damit erhöhte Kraftstoffverbrauchswerte von bis zu 30%.

[0012] Erdgas-Magerkonzepte zur Einhaltung der für das Jahr 2005 bestehenden Grenzwerte (Euro 4) dürften im wesentlichen durch die Weiterentwicklung bestehender Magermotorkonzepte im Hinblick auf eine Erweiterung der Magerlaufgrenzen zur Reduzierung der NO_x-Emissionswerte unter die Grenze von 3 g/kWh gekennzeichnet sein. Hierzu werden Brennverfahren mit intensivierter Ladungsbewegung zur Kompensation der bei sehr mageren Gemischen stark abnehmenden Brenngeschwindigkeit mit relativen A/F Verhältnis von bis zu 1,6 in vollastnahen Betriebspunkten entwickelt. Entsprechende Magermotoren weisen neben Brennverfahren mit erweiterter Magerlauffähigkeit eine Abgasturboaufladung mit Ladeluftkühlung auf. Das Verdichtungsverhältnis liegt je nach Konzept zwischen 11,7 und 13. Die mit solchen Konzepten im ECE R49 Abgastest erreichbaren NO_x-Werte dürften, bei HC-Werten vor Katalysator von etwa 2,9 g/kWh, zwischen 1,5 g/kWh und 2 g/kWh liegen.

[0013] Aufgrund des hohen Verdichtungsverhältnisses sowie dem mageren Betrieb zumindest im Vollastbereich lässt sich der maximale Motorwirkungsgrad auf bis zu 40% steigern. Über dem ECE R49 Testzyklus dürften sich damit gegenüber zukünftigen Dieselmotorkonzepten der Emissionsstufe Euro 4 nur noch um etwa 5% bis 15% höhere Verbrauchswerte ergeben. Die erreichbaren Mitteldrücke liegen je nach Auslegung des Turboladers bei einem maximalen effektiven Mitteldruck von 14 bar bis 18 bar.

[0014] In neuerer Zeit sind neben den Entwicklungen auf dem Gebiet der homogenen Magerverfahren auch Verfahren mit Hochdruck-Gaseinspritzung direkt in den Brennraum vorgestellt worden. Hierbei handelt es sich um ungedrosselte, hochverdichtete (Verdichtungsverhältnis 16 bis 18) Gasmotoren, mit denen versucht wird, das niedrige Schadstoffemissionsniveau von Gasmotoren mit homogener Gemischbildung (Otto-Gasmotoren) mit dem erheblich besseren Wirkungsgradverhalten von direkteinspritzenden Dieselmotoren zu verbinden. Außerdem sollte eine weitgehende Unempfindlichkeit des motorischen Betriebsverhaltens von der Methanzahl des eingesetzten gasförmigen Kraftstoffes erreicht werden.

[0015] Der gasförmige Kraftstoff wird hierbei gegen Ende des Verdichtungstaktes unter hohem Druck von etwa 200 bar direkt in den im Kolben angeordneten Brennraum eines ungedrosselten, hochverdichteten Motors eingeblasen. Dadurch bildet sich, ähnlich wie beim Dieselmotor, ein inhomogenes Gas-Luftgemisch. Das Gas wird mittels eines schnellschalten-

den Gaseinblaseventils in die weitgehend der Brennraumform bei Dieselmotoren entsprechende Kolbenmulde eingeblasen. Wegen der unzureichenden Selbstzündungswilligkeit von Erdgas, wird die Zündung des Gemisches durch eine Zündquelle wie z.B. eine Glühkerze sichergestellt. Das zur Einspritzung des Erdgases erforderliche Einblasesystem besteht aus einem zentralen Gasverteilsystem sowie aus elektromagnetisch oder elektro-hydraulisch betätigten Gasventilen, durch die kennfeldgesteuert die Dosierung und die Einblasebeginnanspassung des Kraftstoffes erfolgt.

[0016] Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass bei konstant auf 200 bis 300 bar gehaltenem Gaseinblasedruck ein aus einer Kraftstoffaustrittsöffnung der Gaseinblasedüse austretender Kraftstoffstrahl mit geringer freier Strahllänge von 5 bis 10 Prozent des Brennraummuldendurchmessers auf die Zündvorrichtung derart ausgerichtet ist, dass der Kraftstoffstrahl in dem Bereich von zumindest einer Brennstoffdurchtrittsöffnung auftrifft, die in eine die Zündvorrichtung umgebende Abschirmhülse eingelassen ist. Entsprechend ist die Brennkraftmaschine ausgebildet. Die Abschirmhülse bewirkt, dass einerseits der Raum zwischen der Abschirmhülse und der Zündvorrichtung vor den pulsierenden Strömungen des Brennstoff-Luftgemisches in dem Arbeitsraum abgeschirmt ist, aber andererseits durch die Brennstoffdurchtrittsöffnung gezielt ein Kraftstoffstrahl in den Raum eingeleitet und entzündet wird. Durch die erfindungsgemäße Gestaltung der Zündvorrichtung in Kombination mit dem auf die Zündvorrichtung ausgerichteten Zündstrahl geringer freier Strahllänge ist, wie Versuche ergeben haben, in Verbindung mit einem für selbstzündende Brennkraftmaschinen (Dieselmotoren) typischen hohen Verdichtungsverhältnis ein betriebssicherer, zuverlässiger und schadstoffarmer Betrieb der Brennkraftmaschine gewährleistet. Darüber hinaus ist durch die Abschirmung der Zündvorrichtung die zuzuführende Heizleistung deutlich gegenüber der bekannten Ausführung reduzierbar.

[0017] In weiterer Ausgestaltung ist die Gaseinblasedüse mit weiteren Kraftstoffaustrittsöffnungen zur Verteilung des Kraftstoffes in dem Brennraum versehen. Der durch diese Kraftstoffaustrittsöffnungen austretende gasförmige Kraftstoff wird gleichmäßig in die Brennraummulde verteilt und vermischt sich mit der Brennluft. Das so entstandene Gemisch wird von dem an der Zündvorrichtung entzündeten Kraftstoffstrahl, der sich nach seiner Entzündung ebenfalls in den Brennraum ausbreitet, entflammt. Dabei ist in weiterer Ausgestaltung der Erfindung die Gaseinblasedüse bevorzugt mit fünf bis zwölf Kraftstoffaustrittsöffnungen versehen. Hier erfolgt die Auswahl unter anderem aufgrund des Kolbendurchmessers, des Brennraumdurchmessers, der in Abhängigkeit von der maximalen Kurbelwellendrehzahl erforderlichen Drallunterstützung der Kraftstoff-Luft-Gemischbildung sowie allgemein der Einsatzbedingungen.

[0018] In Weiterbildung der Erfindung ist die Ga-

seinblasedüse zentrisch zu der Brennraummulde ausgerichtet und die Zündvorrichtung seitlich zu der Gaseinblasedüse in die Brennraummulde hineinragend angeordnet. Durch die zentrische Anordnung ist eine gleichmäßig verteilte Einblasung des Kraftstoffes insbesondere in die Brennraummulde und demzufolge auch eine vollständige Vermischung mit der Brennluft ermöglicht beziehungsweise gewährleistet. Gleichzeitig ermöglicht die zentrische Anordnung der Gaseinblasedüse die Ausbildung des Zylinderkopfs als Drei- oder Vierventil-Zylinderkopf.

[0019] In weiterer Ausgestaltung ist die Abschirmhülse mit zwei bis zehn, bevorzugt mit vier bis sechs Brennstoffdurchtrittsöffnungen versehen. Die Auswahl erfolgt wieder unter anderem aufgrund des Kolbendurchmessers, des Brennraumdurchmessers, der maximalen Kurbelwellendrehzahl und allgemein der Einsatzbedingungen. Dabei ist es so, dass durch bevorzugt zwei Brennstoffdurchtrittsöffnungen der Kraftstoffstrahl in die Abschirmhülse eintritt, entzündet wird und der entzündete Strahl durch die restlichen Brennstoffdurchtrittsöffnungen in die Brennraummulde austritt. Insgesamt weist die Abschirmhülse somit bis zu sechs Brennstoffdurchtrittsöffnungen auf.

[0020] In Weiterbildung der Erfindung ist mindestens ein aus einer Kraftstoffaustrittsöffnung austretende Kraftstoffstrahl auf eine als Eintrittsöffnung ausgebildete Brennstoffdurchtrittsöffnung ausgerichtet und die übrigen unterhalb der Eintrittsöffnung als Austrittsöffnungen ausgebildeten Brennstoffdurchtrittsöffnungen sind so ausgerichtet, dass durch das aus der Abschirmhülse austretende brennende Kraftstoff-Luft-Gemisch Gemischteile im Bereich der Strahlwurzel unter der Gaseinblasedüse entflammt werden. Diese Ausbildung beziehungsweise das entsprechende Verfahren stellt sich für ein zuverlässiges und betriebssicheres Betreiben der Brennkraftmaschine besonders günstig dar, da durch die Ausrichtung des aus einer Kraftstoffaustrittsöffnung der Gaseinblasedüse austretenden Gasstrahles auf eine als Eintrittsöffnung ausgebildete Brennstoffdurchtrittsöffnung in der Abschirmhülse der Glühzündeinrichtung das rasche Austreten eines brennenden Gasstrahles relativ wenig behindert wird und damit ein für das Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine vorteilhafter sehr kurzer Zündverzug erreicht wird. Insbesondere sind so Zündverzüge möglich, die deutlich kürzer sind, als die jeweils entsprechenden Einblasedauern für den gasförmigen Kraftstoff.

[0021] Vorteilhaft ist die Zündvorrichtung in einer Entfernung von 5% des Durchmessers der Brennraummulde bei größeren Zylinderdurchmessern bis 10% bei kleineren Zylinderdurchmessern von der Gaseinblasedüse entfernt angeordnet. Bei normalen Brennkraftmaschinen ist demzufolge die Zündvorrichtung weitgehend unabhängig von der Zylindergröße fünf bis sieben Millimeter von der Gaseinblasedüse entfernt angeordnet.

[0022] Zur genauen Regelung des Einblaseorgan-

ges und zur Sicherstellung eines für alle Zylinder der Brennkraftmaschine gleichen Verbrennungsablaufes ist es erforderlich, dass zumindest der Einblasezeitpunkt, bei variablem Einblasequerschnitt außerdem auch der Düsenadelhub betriebspunktabhängig durch die Messung der Ventilöffnung eines oder aller Gaseinblasedüsen erfasst wird.

[0023] In vorteilhafter Ausgestaltung ist eine betriebspunktabhängige Regelung der elektrischen Heizleistung für die Glühelemente vorgesehen, da besonders bei hohen Motorlasten und den dabei auftretenden höheren Brennraumtemperaturen der Zündvorrichtung Verbrennungswärme zugeführt wird und so die zur Erhaltung der für die Oberflächenzündung erforderlichen elektrischen Heizleistung reduziert werden kann. Hierdurch wird eine beträchtliche Erhöhung der Lebensdauer der Zündvorrichtung erreicht. Andererseits ist bei niedrigen Motorlasten mit den damit verbundenen niedrigeren Brennraumtemperaturen sowie bei höheren Motordrehzahlen und niedrigen Motorlasten ein größerer Wärmeverlust der Zündvorrichtung verbunden, der zur Darstellung eines aussetzerfreien und schadstoffarmen Motorbetriebs durch eine Anhebung der elektrischen Leistung der Zündvorrichtung kompensiert werden muss.

[0024] Aufgrund der bei der erfindungsgemäßen Ausführung des Glühzündvorrichtung erreichbaren hohen Zündsicherheit des Kraftstoff-Luftgemisches lässt sich vorteilhaft zur Verminderung der Stickoxidemission das Abgas der Brennkraftmaschine geregelt und betriebspunktabhängig gekühlt und/oder ungekühlt mit Abgasrückführraten von bis zu 70 Prozent in die Verbrennungsluftzuführung der Brennkraftmaschine zurückzuführen.

[0025] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind der Zeichnungsbeschreibung zu entnehmen, in der ein in den Figuren dargestelltes Ausführungsbeispiel der Erfindung näher beschrieben ist. Es stellen dar:

[0026] **Fig. 1:** eine Seitenansicht der zu einer Brennraummulde ausgerichteten Gaseinblasedüse und Zündvorrichtung,

[0027] **Fig. 2:** eine Detailansicht der Zündvorrichtung nach **Fig. 1** und

[0028] **Fig. 3:** ein Gesamtschema der fahrzeugseitigen Kraftstoff- und Hydraulikversorgung sowie die Regelung des Gesamtsystems. Bei dem Ausführungsbeispiel nach **Fig. 1** sind die erfindungswesentlichen Bauteile der luftverdichtenden Brennkraftmaschine dargestellt. Diese kann in Reihen- oder V-Bauart mit beliebigen Zylinderzahlen und beliebigem Hubvolumen ausgebildet sein. Die Brennkraftmaschine weist zumindest eine Brennraummulde 1 enthaltenden Kolben 2 auf, der in einem von einem nicht dargestellten Zylinderkopf unter Bildung eines Arbeitsraumes abgedeckten Zylinder 3 bewegbar ist. In diesem Arbeitsraum, der im wesentlichen aus der Kolbenmulde (Brennraummulde) 1 besteht, wird die schnelle Bildung eines Kraftstoff-Luftgemisches durch eine zum Zeitpunkt der Gaseinblasung beste-

hende Ladungsrotation unterstützt. In dem Zylinderkopf ist eine zu der Kolbenmulde 1 ausgerichtete Gaseinblasedüse 4, durch die ein brennbarer gasförmiger Kraftstoff in den Arbeitsraum eingebracht wird, sowie eine in die Brennraummulde 1 hineinragende Zündvorrichtung 5 angeordnet. Die Gaseinblasedüse 4 ist zentrisch zu der Brennraummulde 1 ausgerichtet und weist vorzugsweise sieben (7) Kraftstoffaustrittsöffnungen 6 auf.

[0029] Eine der Kraftstoffaustrittsöffnungen 6a ist auf die Zündvorrichtung 5 derart ausgerichtet, dass der aus dieser Kraftstoffaustrittsöffnung 6a austretende Kraftstoffstrahl in den Bereich von zumindest einer der Brennstoffdurchtrittsöffnungen 7 auftrifft, die in eine die Zündvorrichtung 5 umgebende Abschirmhülse 8 eingelassen sind. Zumindest eine der Brennstoffdurchtrittsöffnungen 7 dient als Eintrittsöffnung 7a (**Fig. 2**) in den freien, zylinderförmigen Raum 9 zwischen der Zündvorrichtung 5 und der Abschirmhülse 8. Die Anordnung der Zündvorrichtung im Zylinderkopf ist nun so gewählt, dass der aus der Kraftstoffaustrittsbohrung 6a austretende Kraftstoffstrahl eine freie Strahllänge von 5% bis 10% des Brennraummuldendurchmessers aufweist. Hierdurch wird sichergestellt, dass unter allen Betriebsbedingungen eine ausreichend stabile Gaswolke vor den Eintrittsöffnungen 7a in der Abschirmhülse der Zündvorrichtung gebildet wird. Der in den Raum zwischen dem Heizelement 5a der Zündvorrichtung 5 und der Abschirmhülse 8 eingetretene Kraftstoff, der mit Brennluft vermischt ist, wird an der heißen Oberfläche des Heizelementes 5a entzündet. Das brennende Gemisch breitet sich entlang des zylinderförmigen Raumes 9 aus und tritt durch weitere als Austrittsöffnungen 7b fungierende Brennstoffdurchtrittsöffnungen 7 wieder aus dem Raum 9 aus. Diese Austrittsöffnungen 7b liegen unterhalb der Eintrittsöffnungen 7a. Von diesem ausgetretenen Gemisch werden Gemischteile im Bereich der Strahlwurzel der aus den weiteren Kraftstoffaustrittsöffnungen 6 austretenden Kraftstoffstrahlen unter der Gaseinblasedüse 4 entflammt.

[0030] Das Gaseinblaseventil 4 ist als hydraulisch betätigtes Gasventil ausgeführt, wobei die Steuerung des Hydraulikdruckes durch ein elektromagnetisches Hydraulikventil erreicht wird.

[0031] Die in **Fig. 1** dargestellte Zündvorrichtung 5 besitzt ein keramisches Heizelement 5a, da auf diese Weise eine hohe Haltbarkeit der Zündvorrichtung gewährleistet werden kann. Zusätzlich kann zur weiteren Verbesserung der Standfestigkeit der Zündvorrichtung 5 die Abschirmhülse 8 aus einem keramischen Material gefertigt werden. Eine aufgrund des bei kleineren Motoren und damit baugrößenbedingt geringen Volumens des zylinderförmigen Raumes 9 zwischen der Zündvorrichtung 5 und der Abschirmhülse 8 verminderte an der heißen Oberfläche entflammte Gasmenge kann zu einer verschleppten Verbrennung und entsprechend höheren Kohlenwasserstoff- und Kohlenmonoxidemissionen führen. In die-

sem Fall führt eine katalytische Beschichtung der Abschirmhülse **9** mit Platin oder Palladium zu einer Beschleunigung des Entflammungsvorganges und damit zu einer stabileren Verbrennung.

[0032] Da das erfindungsgemäße Verfahren zum Betrieb einer Verbrennungskraftmaschine mit direkt in den Brennraum eingeblasenem gasförmigen Kraftstoff einen konstant hohen Gasdruck vor den Gaseinblaseventilen **4** erfordert, ist für den Fall des Einsatzes in Kraftfahrzeugen, ein entsprechend modifiziertes fahrzeugseitiges Kraftstoffsystem einzusetzen. In **Fig. 2** ist ein solches Kraftstoffsystem mit den Einrichtungen zur Gasversorgung und zur Bereitstellung des Hydraulikfluids zum Betrieb eines hydraulisch betätigten Gasventils **4** dargestellt. Das Gasventil wird durch ein Hydraulikfluid betätigt, das auf einen mit der Ventilonadel verbundenen Kolben **10** wirkt. Die Versorgung der bei einer mehrzylindrigen Verbrennungskraftmaschine entsprechenden Anzahl an Gaseinblaseventilen **4** erfolgt über eine gemeinsame Versorgungsleitung **11**, in der durch eine Hydraulikpumpe **12** ein Druck von 250 bis 300 bar erzeugt wird. Die Druckregelung erfolgt mittels dem Druckregelventil **12** und zur Aufrechterhaltung des Hydraulikdruckes auch nach Abschalten des Motors dient ein Hydrospeicher **14**.

[0033] Gasseitig wird das Gaseinblaseventil **4** über eine für alle Gasventile gemeinsame Versorgungsleitung **15** mit einem Gasdruck von 200 bar versorgt. Das Gas wird mit dem entsprechend dem Füllungszustand des Gastanks **16** herrschenden Druck über einen fahrzeugtauglichen Verdichter **17** und eine Druckregleinrichtung **18** der Versorgungsleitung **15** zugeführt. Ist der Gastank mit einem Druck von 200 bar voll aufgeladen, so wird der Verdichter mittels des Einblas- und Motorsteuergerätes **19** so angesteuert, dass nur ein geringfügig höherer Druck, der zur genauen Versorgungsleitungsdruckregelung erforderlich ist, aufgebaut wird. Mit zunehmender Entnahme des Gases und entsprechend geringer werdendem Druck, gemessen mittels eines Druckgebers **21** am Gastank, wird die jeweils erforderliche Druckdifferenz zur Darstellung eines konstanten Gaseinblasedruckes von 200 bar durch den Verdichter **17** aufgebracht. Das Einblase- und Motorsteuergerät **19** steuert nicht nur das Magnetventil **20** im hydraulischen Teil des Gaseinblaseventils **4** an, sondern regelt auch den Gasverdichter **17**, den Antrieb der Hydraulikpumpe **12** sowie die entsprechenden Druckregelventile **13** und **18**.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer luftverdichtenden Brennkraftmaschine, die zumindest einen einen Brennraummulde beinhaltenden Kolben aufweist, der in einem von einem Zylinderkopf unter Bildung eines Arbeitsraumes abgedeckten Zylinder bewegbar ist, wobei in dem Zylinderkopf eine zu der Brennraummulde im wesentlichen zentrisch ausgerichtete

Gaseinblasedüse, durch die ein brennbarer gasförmiger Kraftstoff in den Arbeitsraum eingebracht wird, sowie eine in geringem Abstand zur Gaseinblasedüse angebrachte, in die Brennraummulde hineinragende Zündvorrichtung angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein aus einer Kraftstoffaustrittsöffnung (**6**) der Gaseinblasedüse (**4**) austretender Kraftstoffstrahl auf die Zündvorrichtung (**5**) derart ausgerichtet ist, dass der Kraftstoffstrahl in dem Bereich von zumindest einer Brennstoffdurchtrittsöffnung (**7**) auftrifft, die in eine die Zündvorrichtung (**5**) umgebende Abschirmhülse (**8**) eingelassen ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Gaseinblasedüse (**4**) mit weiteren Kraftstoffaustrittsöffnungen (**6a**) zur Verteilung des Kraftstoffs in dem Brennraum versehen ist.

3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gaseinblasedüse (**4**) zentrisch zu der Brennraummulde (**1**) ausgerichtet und die Zündvorrichtung (**5**) seitlich zu der Gaseinblasedüse (**4**) in die Brennraummulde (**1**) hineinragend angeordnet ist und der auf die Abschirmhülse (**8**) der Zündvorrichtung (**5**) gerichtete Kraftstoffstrahl eine freie Strahlänge von 5 bis 10 Prozent des Durchmessers der Brennraummulde (**1**) aufweist.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass unterhalb der als Eintrittsöffnung (**7a**) ausgebildeten ersten Brennstoffdurchtrittsöffnung (**7**) zumindest eine als Austrittsöffnung (**7b**) ausgebildete weitere Brennstoffdurchtrittsöffnung (**7**) so ausgerichtet ist, dass durch das aus der Austrittsöffnung (**7b**) austretende brennende Kraftstoff-Luft-Gemisch Gemischteile im Bereich der Strahlwurzel unter der Gaseinblasedüse (**4**) entflammt werden.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Einblasezeitpunkt betriebspunhtabhängig (Kennfeldregelung) durch die Erfassung der Ventilöffnung einer oder aller Gaseinblasedüsen (**4**) geregelt wird.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Heizleistung der Zündvorrichtung (**5**) in Abhängigkeit vom Betriebspunkt der Brennkraftmaschine so gesteuert wird, dass eine für die sichere Zündung des Brennstoff-Luft-Gemisches erforderliche Oberflächentemperatur des Zündvorrichtungselementes sichergestellt wird.

7. Verfahren, nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Abgas der Brennkraftmaschine geregelt und betriebspunhtabhängig gekühlt und/oder ungekühlt in die

Verbrennungsluftzuführung der Brennkraftmaschine zurückgeführt wird.

8. Luftverdichtende Brennkraftmaschine, die zumindest einen eine Brennraummulde aufweisenden Kolben aufweist, der in einem von einem Zylinderkopf unter Bildung eines Arbeitsraums abgedeckten Zylinder bewegbar ist, wobei in dem Zylinderkopf eine zu der Brennraummulde ausgerichtete Gaseinblasedüse, durch die ein brennbarer gasförmiger Kraftstoff in den Arbeitsraum eingebracht wird, sowie eine in die Brennraummulde hineinragende Zündvorrichtung angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündvorrichtung (5) zumindest in dem in den Brennraum hineinragenden Bereich von einer Abschirmhülse (8) umfasst ist und dass in die Abschirmhülse (8) zumindest eine Brennstoffdurchtrittsöffnung (7) eingelassen ist.

9. Brennkraftmaschine nach Anspruch 8 dadurch gekennzeichnet, dass die Gaseinblasedüse (4) zumindest eine Kraftstoffaustrittsöffnung (6) aufweist, die zu der Brennstoffdurchtrittsöffnung (7) ausgerichtet ist.

10. Brennkraftmaschine nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Gaseinblasedüse (4) fünf bis zwölf, Kraftstoffaustrittsöffnungen (6) aufweist.

11. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 10 dadurch gekennzeichnet, dass die Abschirmhülse (8) zwei bis zehn, bevorzugt vier bis sechs Brennstoffdurchtrittsöffnungen (7) aufweist.

12. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer der Kraftstoffstrahlen auf die als Eintrittsöffnungen (7a) ausgebildeten Brennstoffdurchtrittsöffnungen (7) ausgerichtet ist und die übrigen unterhalb der Eintrittsöffnungen (7a) als Austrittsöffnungen (7b) ausgebildeten Brennstoffdurchtrittsöffnungen (7) auf den Bereich der Strahlwurzel der aus der Abschirmhülse (8) austretenden brennenden Kraftstoff-Luft-Gemisch Gemischteile unter der Gaseinblasedüse (4) ausgerichtet sind.

13. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündvorrichtung (5) in einer Entfernung von 5% bis 10% des Durchmessers der Brennraummulde (1) von der Gaseinblasedüse (4) entfernt angeordnet ist.

14. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündvorrichtung (5) vier bis acht Millimeter von der Gaseinblasedüse (4) entfernt angeordnet ist.

15. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Ga-

seinblasedüse (4) elektromagnetisch geschaltet und hydraulisch angetrieben ist.

16. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündeinrichtung (5) ein keramisches Heizelement ist.

17. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschirmhülse (8) aus einem hochdichten Keramikmaterial mit guter Wärmeleitfähigkeit besteht.

18. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschirmhülse (8) zur Verminderung der erforderlichen Heizelement-Oberflächentemperatur eine katalytisch wirksame Beschichtung zumindest auf der Innenseite der Abschirmhülse (8) aufweist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

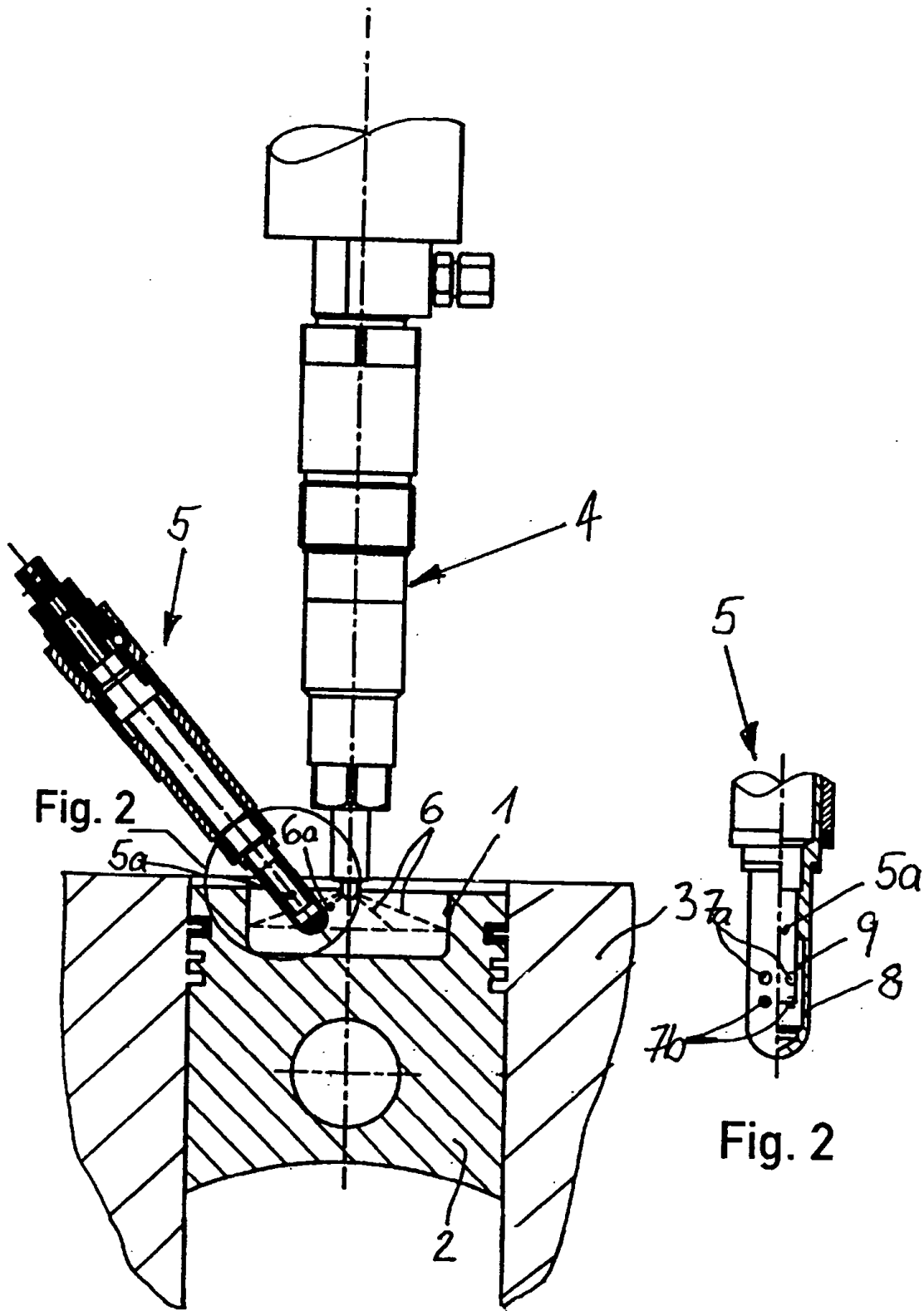


Fig. 1

Fig. 2

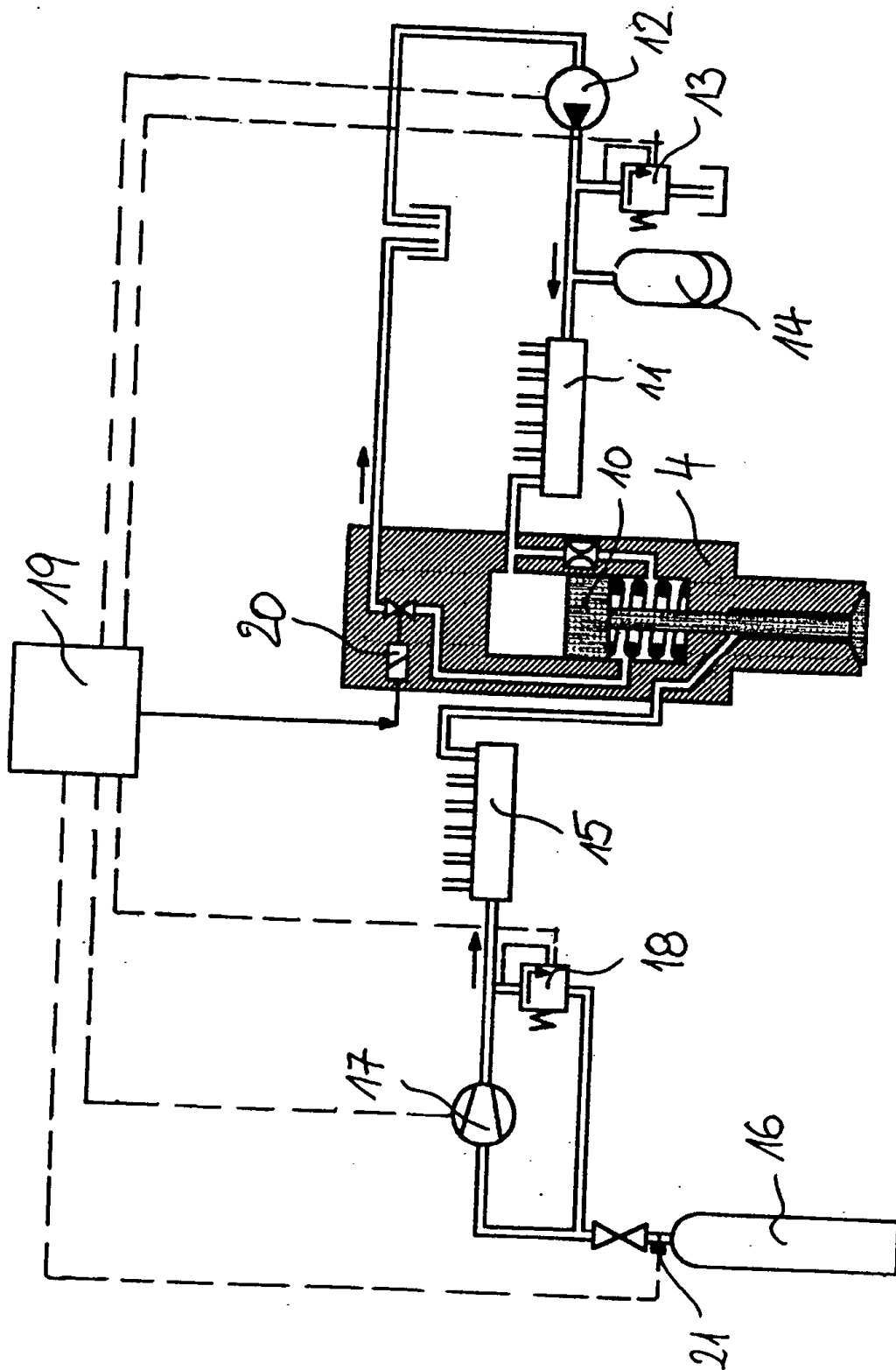


Fig. 3