

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 238/2015
(22) Anmeldetag: 21.04.2015
(45) Veröffentlicht am: 15.07.2016

(51) Int. Cl.: **F02D 19/10** (2006.01)
F02D 19/06 (2006.01)
F02D 41/40 (2006.01)
F02M 45/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 2653706 A1
WO 2005121542 A1
DE 19621297 C1
WO 02086302 A1

(73) Patentinhaber:
GE Jenbacher GmbH & Co OG
6200 Jenbach (AT)

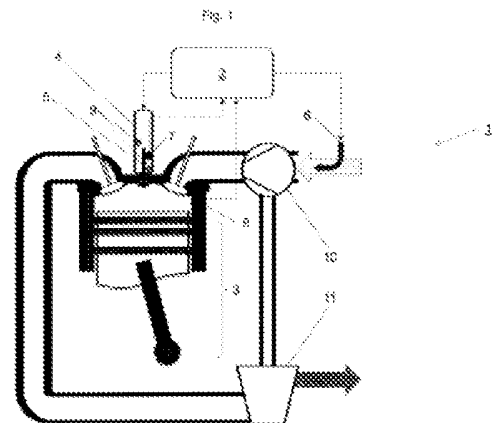
(72) Erfinder:
Jassin Marcel Fritz
80997 München (DE)
Imhof Dino
81667 München (DE)
Tinschmann Georg
6130 Schwaz (AT)
Trapp Christian
6067 Absam (AT)

(74) Vertreter:
Mag. Dr. P. N. Torggler, Dr. Dipl.Ing. St.
Hofinger, Mag. Dr. M. Gangl, MMag. Dr. Ch.
Maschler
Innsbruck (AT)

(54) **Dual-Fuel-Brennkraftmaschine**

(57) Dual-Fuel-Brennkraftmaschine (1) mit einer Regeleinrichtung (2) zum Regeln der Brennkraftmaschine, mit wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3), wobei jedem der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) zugeordneten Kraftstoffinjektor (4) für einen flüssigen Kraftstoff zugeordnet ist, welcher eine Injektornadel (5) aufweist, die verschiedene Nadelpositionen einnehmen kann, wobei jedem der wenigstens zwei dieser Kolben-Zylinder-Einheiten (3) eine Gaszufuhreinrichtung (6) für gasförmigen Kraftstoff zugeordnet ist, wobei die Regeleinrichtung (2) dazu ausgebildet ist, den Kraftstoffinjektor (4) und die wenigstens eine Gaszufuhreinrichtung (6) individuell zur wahlweisen Dosierung der Menge an jedem der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) zugeführten flüssigen bzw. gasförmigen Kraftstoff anzusteuern, wobei für jeden der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3), wenigstens ein mit der Regeleinrichtung (2) verbundener und der jeweiligen Kolben-Zylinder-Einheit (3) zugeordneter Nadelsensor (7) vorgesehen ist, durch welchen ein für die Nadelposition im ballistischen Bereich

charakteristisches Signal erfassbar ist sodass der Kraftstoffinjektor (4), zur Regelung der zugeführten Kraftstoffmenge im ballistischen Bereich individuell für jeden der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3), kontrollierbar betreibbar ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Dual-Fuel-Brennkraftmaschine mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruch 1 sowie ein Verfahren zum Betreiben einer Dual-Fuel- Brennkraftmaschine.

[0002] Gattungsgemäße Dual-Fuel-Brennkraftmaschinen werden typischerweise in zwei Betriebsmodi betrieben. Dabei unterscheidet man einen Betriebsmodus mit primär flüssiger Kraftstoffzufuhr (kurz „Flüssigbetrieb“, im Falle der Verwendung von Diesel als flüssigem Kraftstoff kurz „Dieselbetrieb“ genannt) und einen Betriebsmodus mit primär gasförmiger Kraftstoffzufuhr, bei welchem der flüssige Kraftstoff als Pilotkraftstoff zum Start der Verbrennung dient (auch als „Pilotbetrieb“ oder „Zündstrahlbetrieb“ bezeichnet).

[0003] Ob Flüssig- oder Pilotbetrieb gewählt wird, kann von verschiedenen Faktoren abhängen, zum Beispiel von der Verfügbarkeit des jeweiligen Kraftstoffes, wirtschaftlichen Überlegungen oder gesetzlichen Vorschriften.

[0004] Es ist auch bekannt, bei sinkender Qualität des gasförmigen Kraftstoffes aus einem Pilotbetrieb in den Flüssigbetrieb zu wechseln.

[0005] Daneben gibt es noch Mischbetriebe, bei welchen die Mengen an gasförmigem und flüssigem Kraftstoff vergleichbar sind.

[0006] Nachteilig war bisher, dass es nicht ohne weiteres möglich war, auch geringe Mengen an flüssigem Kraftstoff sicher zu dosieren, was aber im Pilotbetrieb notwendig ist. Zu diesem Zweck mussten entweder zwei verschiedene Kraftstoffinjektoren für den flüssigen Kraftstoff bereitgestellt werden (einer für größere Mengen an flüssigem Kraftstoff und einer für geringere Mengen an flüssigem Kraftstoff) oder es kam ein einziger Kraftstoffinjektor mit zwei Injektornadeln zum Einsatz (siehe zum Beispiel WO 2014/106525 A1).

[0007] Aufgabe der Erfindung ist die Bereitstellung einer Dual-Fuel-Brennkraftmaschine und eines Verfahrens zum Betreiben einer Dual-Fuel-Brennkraftmaschine, bei welchen die oben beschriebenen nachteiligen Maßnahmen nicht erforderlich sind.

[0008] Diese Aufgabe wird durch eine Dual-Fuel-Brennkraftmaschine mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0009] Indem wenigstens ein mit der Regeleinrichtung verbundener und der jeweiligen Kolben-Zylinder-Einheit zugeordneter Nadelsensor vorgesehen ist, durch welchen ein für die Nadelposition im ballistischen Bereich charakteristisches Signal erfassbar ist, kann der Kraftstoffinjektor zur Regelung der zugeführten Kraftstoffmenge im ballistischen Bereich individuell für jeden der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten, kontrolliert betrieben werden, weil für jede auf die ihr zugeführte Menge an flüssigem Kraftstoff rückgeschlossen werden kann und so diese auch geregelt werden kann.

[0010] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Brennkraftmaschine wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten aufweist. Vorzugsweise sind es 12, 16, 20 oder 24 Kolben-Zylinder-Einheiten. Dann ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass jeder der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten jeweils wenigstens ein Nadelsensor zugeordnet ist.

[0011] Erfindungsgemäß ist des Weiteren vorgesehen, dass die Regeleinrichtung dazu ausgebildet ist, die Mengen des der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten zugeführten flüssigen bzw. gasförmigen Kraftstoffes abhängig von dem für die Nadelpositionen charakteristischen Signale zu regeln.

[0012] In der vorliegenden Offenbarung beziehen sich Prozentangaben im Hinblick auf Kraftstoffmengen auf die durch die jeweilige Kraftstoffmenge der Kolben-Zylinder-Einheit zugeführte Energiemenge. So bedeutet zum Beispiel eine Angabe von 1 % flüssigem Kraftstoff, dass 1 % der der Kolben-Zylinder-Einheit zugeführten Energiemenge aus dem flüssigen Kraftstoff

stammt. In diesem Beispiel werden die komplementären 99 % der zugeführten Energie durch den gasförmigen Kraftstoff geliefert. Welche Energiemenge einem der Kolben-Zylinder-Einheit zugeführten Massenstrom von flüssigem oder gasförmigen Kraftstoff entspricht, ergibt sich über den jeweiligen spezifischen Energiegehalt der zum Einsatz kommenden Kraftstoffe. Beispiele für flüssigen Kraftstoff sind Diesel und Schweröl (engl. HFO, „heavy fuel oil“ oder - vor allem im Marinebereich - BFO „bunker fuel oil“). Beispiele für gasförmige Kraftstoffe sind gasförmige Kohlenwasserstoffe wie zum Beispiel Erdgas oder Biogas.

[0013] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass für jeden der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten wenigstens ein mit der Regeleinrichtung verbundener und der jeweiligen Kolben-Zylinder-Einheit zugeordneter Verbrennungssensor vorgesehen ist, durch welchen ein für die jeweilige Kolben-Zylinder-Einheit erfolgende Verbrennung charakteristisches Signal erfassbar ist.

[0014] In diesem Fall ist bevorzugt vorgesehen, dass die Regeleinrichtung dazu ausgebildet ist, die Mengen des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten zugeführten flüssigen bzw. gasförmigen Kraftstoffes abhängig von dem für die jeweilige Nadelposition und von dem für die jeweilige Verbrennung charakteristischen Signal individuell zu regeln.

[0015] Steht auch ein für die Verbrennung charakteristisches Signal zur Verfügung, ermöglicht dies eine Berücksichtigung des Verlaufes der Verbrennung in einer der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten bei einer Regelung der Dual-Fuel- Brennkraftmaschine. Es kann vorgesehen sein, dass der Verbrennungssensor ein Klopfsensor, ein Zylinderdrucksensor, ein Temperatursensor (zum Beispiel im Brennraum oder im Abgastrakt angeordnet) oder eine NO_x-Sonde ist. Zum Beispiel können so Fehlzündungen, das Auftreten von Klopfen und die bei der Verbrennung entstehenden Emissionen berücksichtigt werden. Die Verbrennung kann bei Kenntnis des Zylinderdruckes in Abhängigkeit desselben geregelt werden. Dies eröffnet gegenüber der Ausführungsform mit lediglich einem Nadelsensor die Möglichkeit die Dual-Fuel-Brennkraftmaschine bei höherem Wirkungsgrad und/oder günstigeren Emissionen zu betreiben.

[0016] Es kann vorgesehen sein, dass der Nadelsensor und der Verbrennungssensor gesondert voneinander ausgebildet sind. Alternativ kann vorgesehen sein, dass der Nadelsensor und der Verbrennungssensor als ein- und derselbe Sensor ausgebildet sind. Dann bietet es sich an, den Sensor als Klopfsensor (Körperschallsensor) auszubilden.

[0017] Besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass pro Kolben-Zylinder-Einheit genau ein Kraftstoffinjektor für flüssigen Kraftstoff vorgesehen ist, der vorzugsweise genau eine Injektornadel aufweist.

[0018] Es kann vorgesehen sein, dass die Regeleinrichtung dazu ausgebildet ist, die Menge des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten zugeführten flüssigen Kraftstoffes in einem Bereich von 0,5 % (untere Grenze des Pilotbetriebs) bis 100 % (obere Grenze des Flüssigbetriebs) individuell zu variieren und entsprechend die Menge des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten zugeführten gasförmigen Kraftstoffes in einem Bereich von 99,5 % bis 0 % zu variieren.

[0019] Es kann vorgesehen sein, dass die Regeleinrichtung dazu ausgebildet ist, die Menge des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheit zugeführten gasförmigen Kraftstoffes und die Menge des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten zugeführten flüssigen Kraftstoffes in Abhängigkeit eines hinterlegten oder berechneten Profils individuell zu regeln, wobei das Profil einen Zusammenhang zwischen verschiedenen Betriebszuständen der Brennkraftmaschine und dazugehörigen Mengen an gasförmigem und flüssigem Kraftstoff definiert. Zum Beispiel können bei einer gegebenen Last der Brennkraftmaschine und einem vorgegebenen Emissionslimit als Profil die jeweils in Bezug auf den Wirkungsgrad optimalen Prozentanteile an flüssigem und gasförmigem Kraftstoff abgelegt sein. Natürlich folgen die Anteile an flüssigem und gasförmigem Kraftstoff der Vorgabe, ob ein Pilotbetrieb, ein Flüssigbetrieb oder ein hinsichtlich der maximalen Gasmenge spezifizierter Mischbetrieb gefahren werden soll.

[0020] Die Verwendung des Profils deckt bevorzugt zumindest den stationären Betrieb der

Brennkraftmaschine ab. Die transienten Bereiche können zum Beispiel mit einer fixen Vorgabe des Anteils an flüssigem und gasförmigem Kraftstoff gefahren werden.

EIN BEISPIEL:

[0021] Bei einem als Zielgröße vorgegebenen BMEP („Brake Mean Effective Pressure“ - charakteristisch für die Last der Brennkraftmaschine) und einem vorgegebenen NO_x-Emissionslimit mit gemessener oder bekannter Methanzahl und Ladelufttemperatur bestimmt man die Zielwerte der Betriebsparameter für das Effizienzmaximum in Abhängigkeit von Einspritzbeginn, Einspritzdauer, Raildruck und Luftverhältnis über einen Lookup-Table oder in Form einer mathematischen Funktion. Zu beachten ist, dass bevorzugt auch das Klopfen oder die NO_x-Emissionen detektiert werden und ggf. in ausgewählte Zielwerte der Betriebsparameter eingegriffen wird um einen sicheren Betrieb zu gestatten. Liegt zum Beispiel Klopfen vor, kann die Menge an gasförmigen Kraftstoff reduziert und entsprechend die Menge an flüssigem Kraftstoff oder der Zeitpunkt der Injektion des flüssigen Kraftstoffes verändert werden.

[0022] Insbesondere für den Pilotbetrieb ist es erforderlich, einen ballistischen Bereich der Injektornadel messtechnisch aufzulösen, wenn man eine Regelung der Brennkraftmaschine vornehmen will. Unter einem ballistischen Bereich versteht man einen Betrieb des Kraftstoffinjektors, bei welchem sich die Injektionsnadel ausgehend von einer „Voll-geschlossen“-Position in Richtung einer „Voll-offen“-Position bewegt, ohne diese jedoch zu erreichen. In Folge bewegt sich die Injektionsnadel wieder in Richtung der „Voll-geschlossen“-Position, ohne die „Voll-offen“-Position erreicht zu haben.

Es kann zum Beispiel ein in Bezug auf den Weg der Injektornadel hochauflösender Sensor verwendet werden oder es kann ein - an sich bekannter - Sensor vorgesehen sein, der das Erreichen der „Voll-geschlossen“-Position detektiert. Es kann auch unmittelbar die Position der Injektornadel über einen optischen Sensor detektiert werden.

[0023] Erfindungsgemäß ist ein Nadelsensor erforderlich, der Information über die binäre Information „Voll-offen“ oder „Voll-geschlossen“ hinaus detektieren kann.

[0024] Es kann vorgesehen sein, dass der Nadelsensor als ein im Kraftstoffinjektor angeordneter Drucksensor, als Wegmesseinrichtung oder als optischer Sensor ausgebildet ist. Ein Drucksensor kann beispielsweise an einem mit der Injektornadel verbundenen Speichervolumen des Kraftstoffinjektors angeordnet sein. Im Falle eines optischen Sensors kann dieser beispielsweise auf die Injektornadel selbst gerichtet sein und unmittelbar durch visuelle Inspektion die Nadelposition ermitteln. Alternativ kann der optische Sensor auf den die jenen Bereich benachbart zum Kraftstoffinjektor gerichtet sein, in welchem bei geöffneter Injektornadel das Auftreten eines Kraftstoffsprays zu erwarten ist.

[0025] Aus den Werten des Nadelsensors kann die Öffnungsdauer der Injektornadel unmittelbar bestimmt werden, und über den Druck, mit welchem der flüssige Kraftstoff über den Kraftstoffinjektor eingespritzt wurde (Raildruck) kann daraus die tatsächlich eingespritzte Menge an flüssigem Kraftstoff berechnet werden. Durch Anpassung der Bestromungsdauer des Kraftstoffinjektors kann diese Menge geregelt werden. Über eine Anpassung der Öffnungs- und Schließzeitpunkte des Kraftstoffinjektors kann die Einspritzcharakteristik variiert werden.

[0026] Man erhält durch den Nadelsensor ein zusätzliches Signal zur ohnehin verfügbaren Strom-Charakteristik der Betätigung des Kraftstoffinjektors. Somit sind Abweichungen von einer aus einer Bestromung des Kraftstoffinjektors erwarteten zu einer tatsächlichen Öffnung, also etwa einem Abheben der Injektornadel detektierbar.

[0027] Es kann vorgesehen sein, dass eine Kühleinrichtung für den Kraftstoffinjektor vorgesehen ist. Hierdurch kann ein Verkoken des flüssigen Kraftstoffes oder eine erhöhte Abnutzung des Kraftstoffinjektors und ein Materialversagen verhindert werden. Die Kühleinrichtung kann zum Beispiel als Flüssigkeitskühlung ausgeführt sein.

[0028] Es kann vorgesehen sein, dass die Regeleinrichtung dazu ausgebildet ist, anhand des für die Nadelposition charakteristischen Signales des Nadelsensors eine Verschleißcharakteris-

tik des Nadelsensors festzustellen. Zum Beispiel kann eine für eine definierte Zufuhr von Kraftstoff erforderliche Bestromungsdauer eines Aktuatorsolenoids der Injektornadel relativ zu einer Öffnungsdauer der Injektornadel über die Zeit beobachtet werden und eine Verlängerung der Bestromungsdauer detektiert werden. Dies weist auf einen Verschleiß hin.

[0029] Hier für die Betätigung des Kraftstoffinjektors über ein Solenoid (eine Spule) formuliert, gilt der Zusammenhang auch für alternative Aktuatoren, wie etwa einen Piezo-Aktuator.

[0030] Bei einem Verfahren zum Betreiben einer Dual-Fuel-Brennkraftmaschine, insbesondere nach einer der vorstehenden Ausführungsformen, ist vorgesehen dass die Menge des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten zugeführten gasförmigen Kraftstoffes und die Menge des den Kolben-Zylinder-Einheiten zugeführten flüssigen Kraftstoffes in Abhängigkeit einer Position einer Injektornadel eines Kraftstoffinjektors der jeweiligen Kolben-Zylinder-Einheit für den flüssigen Kraftstoff und in Abhängigkeit von einer in der wenigstens einen Kolben-Zylinder-Einheit stattfindenden Verbrennung individuell geregelt wird.

[0031] Es kann vorgesehen sein, dass die Menge des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten zugeführten flüssigen Kraftstoffes in einem Bereich von 0,5 % bis 100 % individuell variiert wird und entsprechend die Menge des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten zugeführten gasförmigen Kraftstoffes in einem Bereich von 99,5 % bis 0 % variiert wird.

[0032] Es kann vorgesehen sein, dass die Menge an gasförmigen Kraftstoff und die Menge an flüssigen Kraftstoff welche den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten zugeführt wird, individuell in Abhängigkeit eines hinterlegten oder berechneten Profils geregelt wird, wobei das Profil einen Zusammenhang zwischen verschiedenen Betriebszuständen der Brennkraftmaschine und dazugehörigen Mengen an gasförmigem und flüssigem Kraftstoff definiert.

Als einfache Beispiele seien genannt,

- dass wenn eine geringe Zündwilligkeit des Gemisches von Luft und gasförmigen Kraftstoff festgestellt wird, die Menge an zugeführtem flüssigen Kraftstoff erhöht wird,
- dass wenn Klopfen detektiert wird, ein Einspritzzeitpunkt nach spät verstellt wird,
- dass wenn eine Fehlzündung (misfire) festgestellt wird, die Regeleinrichtung überprüft, ob die eingespritzte Menge an flüssigem Kraftstoff zu gering war

[0033] Es ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten vorgesehen sind und für jede der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten die Menge an zugeführtem gasförmigen Kraftstoff und die Menge an zugeführtem flüssigen Kraftstoff individuell geregelt wird.

[0034] Bevorzugt handelt es sich bei der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine um eine stationäre Brennkraftmaschine, die entweder unmittelbar als mechanischer Antrieb oder als Antriebseinrichtung für einen Generator zur Erzeugung von elektrischer Energie in einer sogenannten Genset-Einheit zum Einsatz kommt.

[0035] Die Zylinder der Kolben-Zylinder-Einheiten weisen bevorzugt einen Bohrungsdurchmesser von mindestens 130 mm auf.

[0036] Die besonderen Vorteile der Erfindung sind zusammengefasst:

- Kraftstoffinjektor mit feedback Signal für Position der Injektornadel von Nadelsensor erlaubt reproduzierbare Abbildung von Kleinstmengen (also sogenanntes Micropilot, unter 1 % Diesel / flüssigem Kraftstoff)
- Korrektur der Einspritzmenge über Lebenszeit des Kraftstoffinjektors
- hohes turn-down ratio abbildbar
- hohe „shot-to-shot accuracy“ (Reproduzierbarkeit der Einspritzmengen von einem Einspritzereignis zum nächsten)
- Kraftstoffinjektor im ballistischen Bereich kontrollierbar betreibbar

[0037] Das *turn down ratio* ist das Verhältnis aus der maximalen und der minimalen Kraftstoffmenge, die ein Injektor kontrolliert einspritzen kann. Kann ein Injektor eine Kraftstoffmenge von

0,5 % bis 100 % darstellen, so weist dieser Injektor ein turn down ratio von 200 auf.

[0038] Zur Korrektur der Einspritzmenge über Lebenszeit des Kraftstoffinjektors sei erwähnt, dass durch Verschleiß und Ablagerung eine Einspritzdauer sich über die Lebenszeit eines Kraftstoffinjektors sowohl verlängern als auch verkürzen kann. Der Nadelsensor eröffnet die Möglichkeit, Abweichungen in beide Richtungen zu detektieren.

[0039] Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden anhand der Figuren diskutiert. Es zeigen:

[0040] Fig. 1 schematisch eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine in einem ersten Ausführungsbeispiel,

[0041] Fig. 2 schematisch eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine in einem weiteren Ausführungsbeispiel,

[0042] Fig. 3 ein Regelschema zu einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens für eine einzelne Kolben-Zylinder-Einheit,

[0043] Fig. 4 ein Regelschema in alternativer Darstellung.

[0044] Figur 1 zeigt schematisch eine Kolben-Zylinder-Einheit 3 einer Brennkraftmaschine 1. Eine Verdichtungseinrichtung 10 ist über eine Welle mit einer Abgasturbine 11 verbunden, in welcher Abgase der Brennkraftmaschine 1 entspannt werden. Über die Verdichtungseinrichtung 10 kann die der Brennkraftmaschine 1 zuzuführende Ladeluft bzw. ein Luft-Kraftstoff-Gemisch verdichtet werden.

[0045] Der Kolben-Zylinder-Einheit 3 der Brennkraftmaschine 1 kann über eine Gaszufuhr-Einrichtung 6 gemäß diesem Ausführungsbeispiel stromaufwärts der Verdichtungseinrichtung 10 gasförmiger Kraftstoff zugeführt werden. Da in dieser Variante ein Gemisch von Luft und Brenngas verdichtet wird, spricht man von einer Gemischaufladung.

[0046] Der Kolben-Zylinder-Einheit 3 kann über den Kraftstoffinjektor 4 flüssiger Kraftstoff, beispielsweise Diesel, zugeführt werden.

[0047] Die entsprechenden Medienleitungen für den flüssigen und den gasförmigen Kraftstoff sind der Übersichtlichkeit halber nicht gezeigt.

[0048] Der Kraftstoffinjektor 4 weist in diesem Ausführungsbeispiel genau eine Injektornadel 5 auf. Weiters ist im Kraftstoffinjektor 4 eine Kühleinrichtung 9 ausgebildet. Dies kann beispielsweise eine Flüssigkeitskühlung sein. Der Kraftstoffinjektor 4 weist weiters einen Nadelsensor 7 auf, durch welchen die Nadelposition der Injektornadel 5 an eine Regeleinrichtung 2 meldbar ist. Der Nadelsensor 7 kann beispielsweise als ein im Kraftstoffinjektor 4 angeordneter Drucksensor, als Wegmesseinrichtung oder als optischer Sensor ausgebildet sein.

[0049] An der Kolben-Zylinder-Einheit 3 ist ein Verbrennungssensor 8 ausgebildet, von welchem für die Verbrennung charakteristische Signale an die Regeleinrichtung 2 meldbar sind. Der Verbrennungssensor 8 kann beispielsweise als Zylinderdrucksensor, Temperatursensor oder als optischer Sensor ausgebildet sein. Die Mengen des der Kolben-Zylinder-Einheit 3 über den Kraftstoffinjektor 4 zugeführten flüssigen Kraftstoffes bzw. die Mengen des über die Gaszufuhreinrichtung 6 zugeführten gasförmigen Kraftstoffes sind über die Regeleinrichtung 2 steuer- bzw. regelbar.

[0050] Die Regeleinrichtung 2 kann in einer Motorsteuerung der Brennkraftmaschine 1 realisiert sein, oder getrennt von dieser ausgebildet sein.

[0051] Das in Fig. 2 gezeigte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von jenem in Fig. 1 dadurch, dass hier die Gaszufuhreinrichtung 6 stromabwärts der Verdichtungseinrichtung 10 ausgebildet ist. Der gasförmige Kraftstoff wird hier also erst unmittelbar vor dem Einlassventil und stromabwärts der Verdichtungseinrichtung 10 zugeführt, welche in diesem Fall kein Gemisch, sondern Ladeluft verdichtet. Man spricht hier von einem luftaufgeladenen Konzept; die

Gaszufuhreinrichtung 6 kann beispielsweise als port-injection (PI)-Ventil ausgebildet sein. Ein solches Ventil eröffnet die Möglichkeit, die Gaszufuhr zylinderindividuell zu variieren.

[0052] Fig. 3 zeigt ein vereinfachtes Regelschema zur Illustration des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0053] Als Kästen dargestellt sind die Gaszufuhreinrichtung 6, der Verbrennungssensor 8, der Kraftstoffinjektor 4 und der Nadelsensor 7 für eine Kolben-Zylinder-Einheit 3, die als Nummer 1 bezeichnet ist (es bestehen also mehrere Kolben-Zylinder-Einheiten 3). Die genannten Glieder Gaszufuhreinrichtung, Verbrennungssensor 8, Kraftstoffinjektor 4 und Nadelsensor 7 sind vorzugsweise in mehreren, besonders bevorzugt in allen Kolben-Zylinder-Einheiten 3 der Brennkraftmaschine 1 angelegt.

[0054] Die Regeleinrichtung 2 erkennt zunächst, ob die Brennkraftmaschine 1 im Dual-Fuel-Modus betrieben wird.

Der Übersichtlichkeit halber wird das Prinzip für eine einzige Kolben-Zylinder-Einheit 3 dargestellt. Über den Nadelsensor 7 werden Informationen über die Position der Injektornadel 5 des Kraftstoffinjektors 4 an die Regeleinrichtung 2 gemeldet. Diese Informationen können beispielsweise beinhalten, ob die Injektornadel 5 ihre jeweiligen Endlagen erreicht hat, wie lange sie in diesen Lagen oder zwischen den Endlagen positioniert war.

[0055] Der Verbrennungssensor 8 liefert Informationen über die Verbrennung in der Kolben-Zylinder-Einheit 3. Diese Informationen können beispielsweise die Brenndauer, Zylinderdruck oder die Zylindertemperatur sein. In Abhängigkeit der vom Verbrennungssensor 8 und vom Nadelsensor 7 übermittelten Daten übergibt die Regeleinrichtung 2 Befehle an die Stellglieder, Gaszufuhreinrichtung 6 und Kraftstoffinjektor 4. An den Kraftstoffinjektor 4 übermittelte Daten können beispielsweise eine Bestromungsdauer (engl.: *duration of current*, DOC) bzw. Start einer Bestromung (engl.: *start of current*, SOC) sein. Dies sind übliche Größen zur Bestimmung der Betätigungscharakteristik eines Kraftstoffinjektors 4.

[0056] Durch das feedback vom Nadelsensor 7 kann nun die Regeleinrichtung 2 die an den Kraftstoffinjektor 4 übermittelten Werte (SOC, DOC) korrigieren (SOC_{cor}, DOC_{cor}), beispielsweise wenn eine Abweichung von tatsächlicher Öffnungsdauer des Kraftstoffinjektors 4 zu Soll-Öffnungsdauer festgestellt wurde.

[0057] Die Gaszufuhreinrichtung 6 kann von der Regeleinrichtung 2 Befehle zu Öffnungs- bzw. Schließzeitpunkten und Öffnungsdauer erhalten, wodurch sich die zugeführte Menge an gasförmigen Kraftstoff ergibt.

[0058] Weitere von der Regeleinrichtung 2 ansteuerbare Größen sind beispielsweise eine Verdichterumblassung oder ein waste-gate. Nicht instantan betätigbar, aber zur Kompensation von langsameren Änderungen geeignet, sind beispielsweise die Anpassung eines Drucks der Gaszufuhr oder des rail-Drucks des flüssigen Kraftstoffs. Während die Gaszufuhreinrichtung 6 und der Kraftstoffinjektor 4 zylinderindividuell ansteuerbar sind, betreffen die Stellglieder waste-gate, Verdichterumblassung (*compressor-bypass*), Versorgungsdruck des gasförmigen Kraftstoffes und rail-Druck (des flüssigen Kraftstoffes) alle Kolben-Zylinder-Einheiten 3, können also nicht zylinderindividuell variiert werden.

[0059] Fig. 4 zeigt das Regelschema von Fig. 3 in einer alternativen Darstellungsform. Zunächst wird beim Start festgestellt, ob die Brennkraftmaschine 1 im Dual-Fuel-Modus oder im Dieselmotus betrieben wird. Im Dual-Fuel-Modus regelt die Regeleinrichtung 2 (hier ECU genannt) zylinderindividuell in Abhängigkeit der empfangenen Signale vom Verbrennungssensor 8 und vom Nadelsensor 7 die Betätigungscharakteristik des Kraftstoffinjektors 4 und/oder gegebenenfalls der Gaszufuhreinrichtung 6 für die Dosierung des gasförmigen Kraftstoffes.

[0060] Eine zylinderindividuelle Variation der Menge an zugeführtem gasförmigen Kraftstoff kann beispielsweise durch ein port-injection-Ventil realisiert sein, wie es im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 erläutert wurde. Eine Alternative zur zylinderindividuellen Variation des zugeführten gasförmigen Kraftstoffes ist ein variabler Ventiltrieb.

[0061] Auf der linken Seite des Schemas ist die Verschaltung beispielhaft für zwei Kolben-Zylinder-Einheiten 3 (hier Zylinder 1 und 2 genannt) dargestellt. Die Glieder bzw. das Regelschema ist vorzugsweise für mehrere, besonders bevorzugt für alle Kolben-Zylinder-Einheiten 3 der Brennkraftmaschine 1 realisiert.

[0062] Die funktionale Einheit aus Kraftstoffinjektor 4 und Nadelsensor 7 empfängt von der Regeleinrichtung 2 (ECU) einerseits das feedback vom Nadelsensor 7 über die tatsächliche Betätigungscharakteristik des Kraftstoffinjektors 4, d.h. Öffnungsdauer, Öffnungs- und Schließzeitpunkte. Zum anderen erhält die funktionale Einheit aus Kraftstoffinjektor 4 und Nadelsensor 7 Befehle zur Betätigung des Kraftstoffinjektors 4, wie Start einer Bestromung (engl.: *start of current*, SOC) und eine Bestromungsdauer (engl.: *duration of current*, DOC). Aus dem feedback des Nadelsensors 7 berechnet und übermittelt die Regeleinrichtung 2 bei Bedarf korrigierte Werte SOC_cor und DOC_cor.

[0063] Auf der rechten Seite des Schemas sind Stellgrößen angegeben, welche nicht zylinderindividuell wirken, sondern alle Kolben-Zylinder-Einheiten 3 der Brennkraftmaschine 1 betreffen.

BEZUGSZEICHENLISTE:

1	Brennkraftmaschine
2	Regeleinrichtung
3	Kolben-Zylinder-Einheit
4	Kraftstoffinjektor
5	Injektornadel
6	Gaszufuhreinrichtung
7	Nadelsensor
8	Verbrennungssensor
9	Kühleinrichtung
10	Verdichtungseinrichtung
11	Abgasturbine

Patentansprüche

1. Dual-Fuel-Brennkraftmaschine (1) mit:
 - einer Regeleinrichtung (2) zum Regeln der Brennkraftmaschine
 - wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3)
 - wobei jedem der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) ein Kraftstoffinjektor (4) für einen flüssigen Kraftstoff zugeordnet ist, welcher eine Injektornadel (5) aufweist, die verschiedene Nadelpositionen einnehmen kann
 - wobei jedem der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) eine Gaszufuhreinrichtung (6) für gasförmigen Kraftstoff zugeordnet ist,
 - wobei die Regeleinrichtung (2) dazu ausgebildet ist, den Kraftstoffinjektor (4) und die wenigstens eine Gaszufuhreinrichtung (6) individuell zur wahlweisen Dosierung der Menge an jedem der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) zugeführten flüssigen bzw. gasförmigen Kraftstoff anzusteuern, **dadurch gekennzeichnet**, dass für jeden der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3), wenigstens ein mit der Regeleinrichtung (2) verbundener und der jeweiligen Kolben-Zylinder-Einheit (3) zugeordneter Nadelsensor (7) vorgesehen ist, durch welchen ein für die Nadelposition im ballistischen Bereich charakteristisches Signal erfassbar ist sodass der Kraftstoffinjektor (4), zur Regelung der zugeführten Kraftstoffmenge im ballistischen Bereich individuell für jeden der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3), kontrollierbar betreibbar ist.
2. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, wobei für jeden der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) wenigstens ein mit der Regeleinrichtung (2) verbundener und der jeweiligen Kolben-Zylinder-Einheit (3) zugeordneter Verbrennungssensor (8) vorgesehen ist, durch welchen ein für die jeweilige Kolben-Zylinder-Einheit (3) erfolgende Verbrennung charakteristisches Signal erfassbar ist.
3. Brennkraftmaschine nach Anspruch 2, wobei die Regeleinrichtung (2) dazu ausgebildet ist, die Mengen des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) zugeführten flüssigen bzw. gasförmigen Kraftstoffes abhängig von dem für die jeweilige Nadelposition und von dem für die jeweilige Verbrennung charakteristischen Signal individuell zu regeln.
4. Brennkraftmaschine nach Anspruch 2 oder 3, wobei der Nadelsensor (7) und der Verbrennungssensor (8) gesondert voneinander ausgebildet sind.
5. Brennkraftmaschine nach Anspruch 2 oder 3, wobei der Nadelsensor (7) und der Verbrennungssensor (8) als ein- und derselbe Sensor ausgebildet sind.
6. Brennkraftmaschine nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, wobei pro Kolben-Zylinder-Einheit (3) genau ein Kraftstoffinjektor (4) für flüssigen Kraftstoff vorgesehen ist, der vorzugsweise genau eine Injektornadel (5) aufweist.
7. Brennkraftmaschine nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Regeleinrichtung (2) dazu ausgebildet ist, die Menge des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) zugeführten flüssigen Kraftstoffes in einem Bereich von 0,5 % bis 100 % individuell zu variieren und entsprechend die Menge des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) zugeführten gasförmigen Kraftstoffes in einem Bereich von 99,5 % bis 0 % zu variieren.
8. Brennkraftmaschine nach Anspruch 7, wobei die Regeleinrichtung (2) dazu ausgebildet ist, die Menge des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) zugeführten gasförmigen Kraftstoffes und die Menge des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) zugeführten flüssigen Kraftstoffes in Abhängigkeit eines hinterlegten oder berechneten Profils individuell zu regeln, wobei das Profil einen Zusammenhang zwischen verschiedenen Betriebszuständen der Brennkraftmaschine (1) und dazugehörigen Mengen an gasförmigem und flüssigem Kraftstoff definiert.

9. Brennkraftmaschine nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Nadelsensor (7) als ein im Kraftstoffinjektor (4) angeordneter Drucksensor, als Wegmesseinrichtung oder als optischer Sensor ausgebildet ist.
10. Brennkraftmaschine nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Verbrennungssensor (8) ein Klopfsensor, ein Zylinderdrucksensor, ein Temperatursensor oder eine NOx-Sonde ist.
11. Brennkraftmaschine nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, wobei eine Kühleinrichtung (9) für den Kraftstoffinjektor (4) vorgesehen ist.
12. Brennkraftmaschine nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Regeleinrichtung (2) dazu ausgebildet ist, anhand des für die Nadelposition charakteristischen Signales des Nadelsensors (7) eine Verschleißcharakteristik des Nadelsensors (7) festzustellen.
13. Verfahren zum Betreiben einer Dual-Fuel-Brennkraftmaschine, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Menge des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) zugeführten gasförmigen Kraftstoffes und die Menge des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) zugeführten flüssigen Kraftstoffes in Abhängigkeit einer Position einer Injektornadel (5) eines Kraftstoffinjektors (4) der jeweiligen Kolben-Zylinder-Einheit (3) für den flüssigen Kraftstoff und in Abhängigkeit von einer in der wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) stattfindenden Verbrennung individuell geregelt wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Menge des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) zugeführten flüssigen Kraftstoffes in einem Bereich von 0,5 % bis 100 % individuell variiert wird und entsprechend die Menge des den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) zugeführten gasförmigen Kraftstoffes in einem Bereich von 99,5 % bis 0 % variiert wird.
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, wobei die Menge an gasförmigem Kraftstoff und die Menge an flüssigem Kraftstoff welche den wenigstens zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (3) zugeführt wird, individuell in Abhängigkeit eines hinterlegten oder berechneten Profils geregelt wird, wobei das Profil einen Zusammenhang zwischen verschiedenen Betriebszuständen der Brennkraftmaschine (1) und dazugehörigen Mengen an gasförmigem und flüssigem Kraftstoff definiert.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

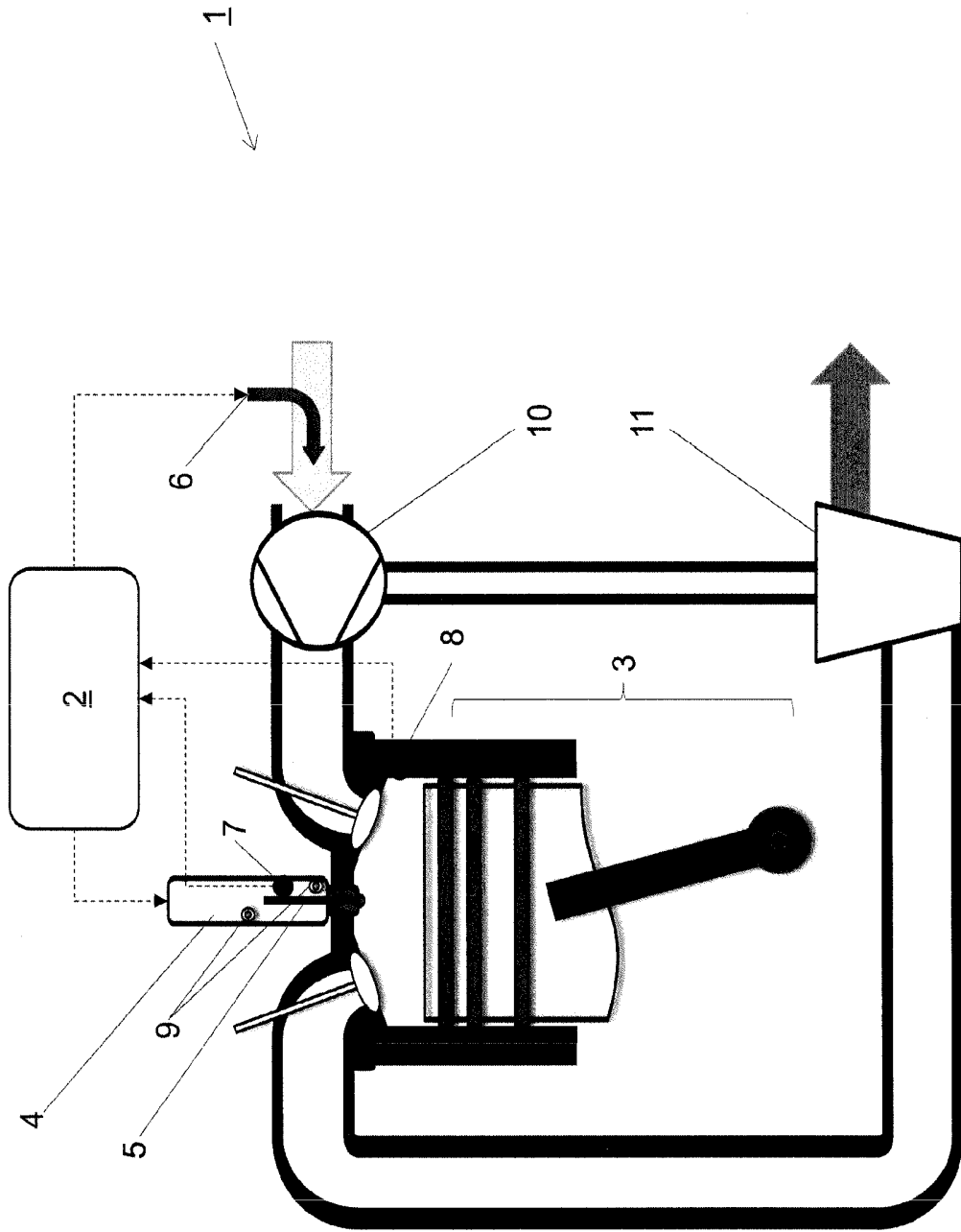


Fig. 2

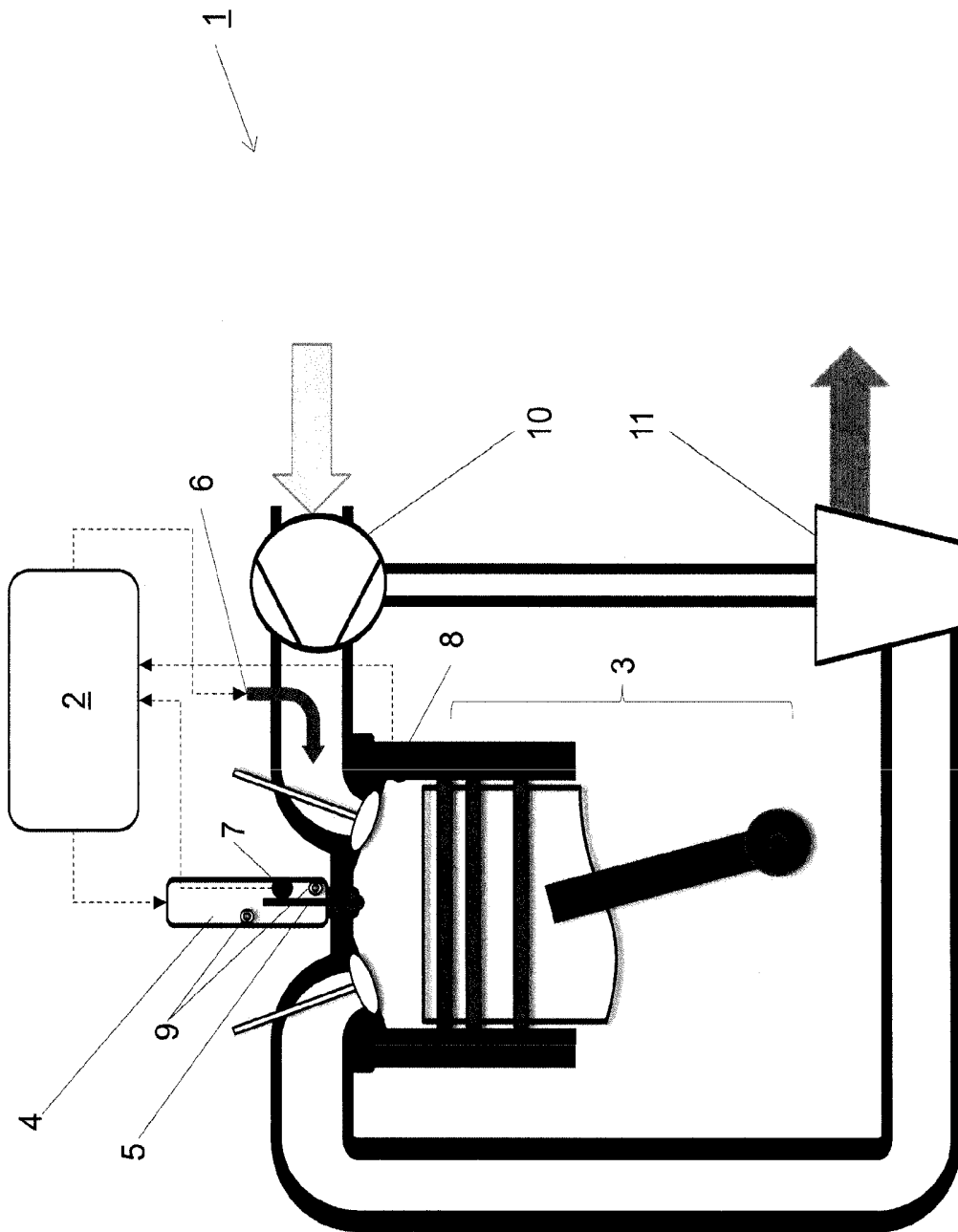


Fig. 3

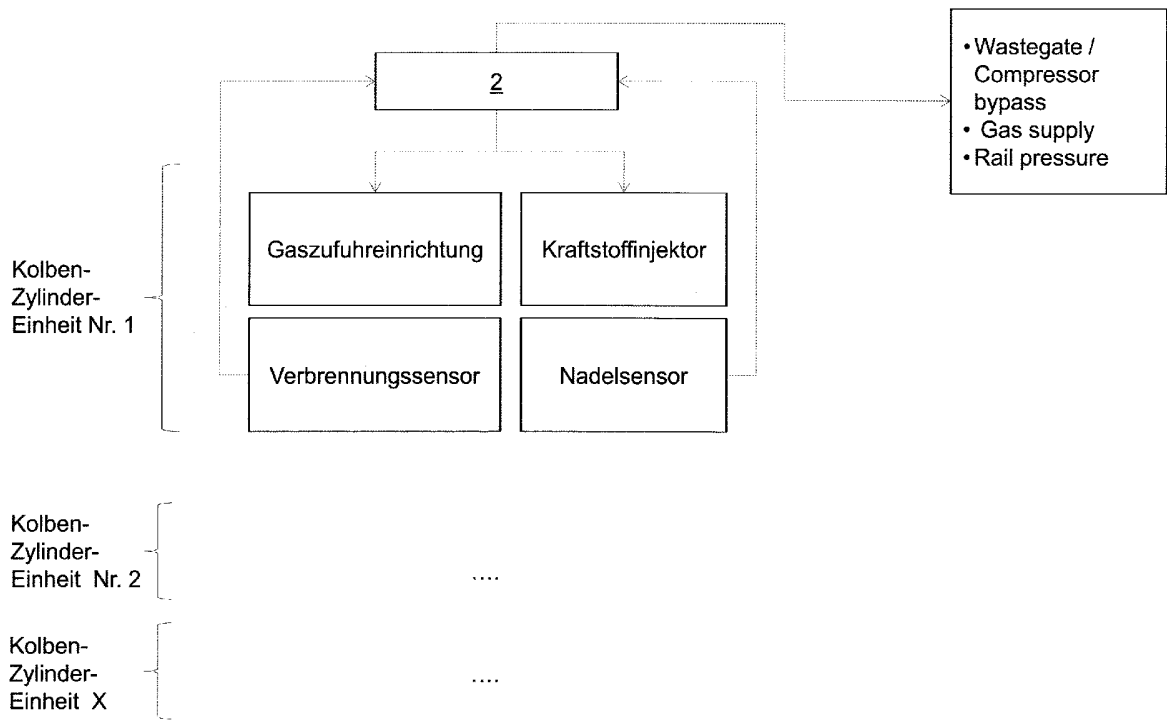


Fig. 4

