

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
3. März 2016 (03.03.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/030002 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F02D 41/14 (2006.01) *F02D 19/08* (2006.01)
F02D 19/02 (2006.01) *F02D 41/00* (2006.01)
F02D 19/06 (2006.01)

(74) Anwalt: **RRPS European Patent Attorneys ROLLS-ROYCE POWER SYSTEMS AG**; Rolls-Royce Power Systems AG, Intellectual Property / TRI, Maybachplatz 1, 88045 Friedrichshafen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/001682

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. August 2015 (14.08.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 216 874.0
25. August 2014 (25.08.2014) DE

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

(72) Erfinder: **FLOHR, Andreas**; Winkelhofstraße 19, 88693 Untersiggingen (DE). **WERNER, Roland**; Grenzhof 1, 88048 Friedrichshafen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

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

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

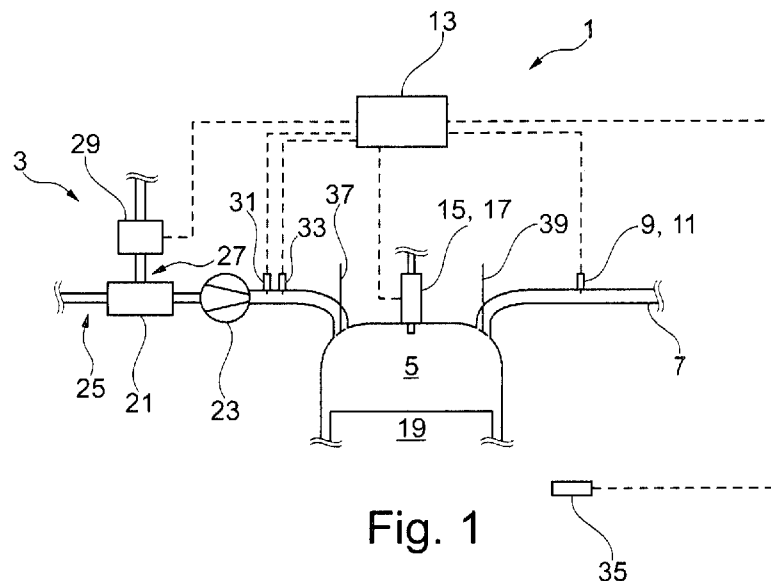


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for operating an internal combustion engine (1) consisting of the following steps: operating the internal combustion engine (1) with a gas fuel; detecting a lambda value (49) in the exhaust gas of the internal combustion engine (1); determining at least one variable (41) from the detected lambda value (49), characterizing the quality of the gaseous fuel, and controlling the internal combustion engine (1) based on the at least one variable (41).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/030002 A1



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1), mit folgenden Schritten: Betreiben der Brennkraftmaschine (1) mit einem Gasbrennstoff; Erfassen eines Lambdawerts (49) im Abgas der Brennkraftmaschine (1); Ermitteln wenigstens eines für eine Qualität des Gasbrennstoffs charakteristischen Kennwerts (41) aus dem erfassten Lambdawert (49), und Ansteuern der Brennkraftmaschine (1) auf der Grundlage des wenigstens einen Kennwerts (41).

BESCHREIBUNG

5 Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine und Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine gemäß Anspruch 1, sowie eine Brennkraftmaschine gemäß Anspruch 8.

10 Es ist bekannt, Brennkraftmaschinen insbesondere in einem auch als Bi-Fuel-Betrieb bekannten Zweistoffbetrieb mit einem Gasbrennstoff zu betreiben. Dabei zeigt sich, dass die für den Betrieb einer solchen Brennkraftmaschine zur Verfügung stehenden Gase in ihrer chemischen Zusammensetzung extremen Schwankungen unterworfen sind. Für eine Qualität des Gasbrennstoffs charakteristische Kennwerte – wie beispielsweise der Heizwert oder das
15 stöchiometrische Luftverhältnis – unterliegen Schwankungen von bis zu oder sogar über 50 %. Um einen geregelten Betrieb der Brennkraftmaschine zu ermöglichen, ist daher eine verlässliche Charakterisierung des verwendeten Gasbrennstoffs nötig. Grundsätzlich ließe sich mittels eines Gaschromatographen und/oder einer chemischen Analyse dessen Zusammensetzung ermitteln, entsprechende Sensoren scheiden aber aus Kosten- und Komplexitätsgründen für einen
20 Feldeinsatz aus. Grundsätzlich ist es auch möglich, direkt den Verbrennungsprozess in der Brennkraftmaschine zu messen. Dies kann beispielsweise durch Zylinderdruckindizierung oder eine brennraumseitige Temperaturmessung erfolgen. Diese Vorgehensweise ist allerdings sehr teuer, und es ist nicht möglich, vorhandene Dieselmotoren mit entsprechender Sensorik für den Zweistoffbetrieb umzurüsten.

25 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Brennkraftmaschine zu schaffen, welche die genannten Nachteile nicht aufweisen.

Die Aufgabe wird gelöst, indem die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche geschaffen
30 werden. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Aufgabe wird insbesondere gelöst, indem ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine geschaffen wird, welches folgende Schritte aufweist: Die Brennkraftmaschine wird mit einem Gasbrennstoff betrieben, und es wird ein Lambdawert im

Abgas der Brennkraftmaschine erfasst. Aus dem erfassten Lambdawert wird wenigstens ein für eine Qualität des Gasbrennstoffs charakteristischer Kennwert ermittelt, und die Brennkraftmaschine wird auf der Grundlage des wenigstens einen Kennwerts angesteuert. Dadurch, dass der Kennwert, welcher für die Qualität des Gasbrennstoffs charakteristisch ist, aus dem erfassten Lambdawert ermittelt wird, kann die Qualität des Gasbrennstoffs auf einfache und kostengünstige Weise im Rahmen des Betriebs der Brennkraftmaschine selbst festgestellt werden, und die Brennkraftmaschine kann entsprechend der festgestellten Qualität des Gasbrennstoffs angesteuert werden. Es bedarf also weder aufwändiger externer chemischer Analysen, noch einer teuren Messsensorik zur Zylinderdruckindizierung oder brennraumseitigen Temperaturmessung. Vielmehr bedarf es lediglich einer Lambdasonde sowie einer entsprechenden Ausgestaltung der Steuereinrichtung der Brennkraftmaschine, sodass diese eingerichtet ist, um den wenigstens einen Kennwert aus dem erfassten Lambdawert zu ermitteln und die Brennkraftmaschine auf der Grundlage dieses Kennwerts anzusteuern. Dabei ist es auch ohne weiteres möglich, einen vorhandenen Dieselmotor oder allgemein eine als Selbstzünder arbeitende Brennkraftmaschine für einen Betrieb mit einem Gasbrennstoff, insbesondere für einen Zweistoffbetrieb, umzurüsten. Weist die vorhandene Brennkraftmaschine bereits eine Lambdasonde auf, bedarf es lediglich einer ohne weiteres einzurichtenden, zusätzlichen Funktionalität in einer Steuereinrichtung der Brennkraftmaschine, oder aber einer zusätzlichen Steuereinrichtung, welche die Funktionalität des Verfahrens übernimmt. Weist dagegen die vorhandene Brennkraftmaschine keine Lambdasonde auf, kann eine solche ohne weiteres nachgerüstet werden.

Unter einem Lambdawert ist hier in üblicher und für sich genommen bekannter Weise das Verbrennungsluftverhältnis zu verstehen, welches auch als Luftverhältnis oder Luftzahl bezeichnet wird. Dieses bezeichnet das Verhältnis zwischen einer tatsächlich für die Verbrennung zur Verfügung stehenden Luftmasse zu einer für eine vollständige Verbrennung notwendigen stöchiometrischen Luftmasse. Der Lambdawert kann in an sich bekannter Weise ohne weiteres im Abgas der Brennkraftmaschine mittels einer Lambdasonde erfasst werden.

Unter einer Ansteuerung der Brennkraftmaschine ist hier eine Steuerung oder eine Regelung der Brennkraftmaschine zu verstehen. Insbesondere wird bevorzugt eine wenigstens einem Brennraum der Brennkraftmaschine zugeführte Menge an Gasbrennstoff auf der Grundlage des wenigstens einen Kennwerts gesteuert oder geregelt.

Als Gasbrennstoff wird vorzugsweise ein methanhaltiges Gas, insbesondere Erdgas, Biogas, Sondergas, oder ein anderes geeignetes Gas verwendet. Insbesondere ist eine Verwendung von verflüssigtem Erdgas (LNG, Liquified Natural Gas) oder auch von einem überwiegend aus langkettigeren Alkanen, insbesondere Propan und/oder Butan, bestehenden Gas, beispielsweise
5 NGL (Natural Gas Liquids) oder LPG (Liquified Petroleum Gas), möglich. Auch ein Gasgemisch kann als Gasbrennstoff verwendet werden, beispielsweise eine Mischung aus komprimiertem Erdgas und Wasserstoff.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass die
10 Brennkraftmaschine in einem Zweistoffbetrieb mit dem Gasbrennstoff und einem Flüssigbrennstoff betrieben wird. Als Flüssigbrennstoff wird vorzugsweise ein Dieselpbrennstoff, insbesondere Diesel, verwendet.

Im Rahmen des Verfahrens wird bevorzugt eine Brennkraftmaschine betrieben, die als
15 Selbstzünder ausgebildet ist. Insbesondere der Betrieb einer als Selbstzünder ausgebildeten Brennkraftmaschine im Zweistoffbetrieb mit dem Gasbrennstoff einerseits und dem Flüssigbrennstoff andererseits weist große Vorteile in Hinblick auf reduzierte Betriebskosten und Emissionen der Brennkraftmaschine auf.

20 Im Rahmen des Verfahrens wird dem wenigstens einen Brennraum der Brennkraftmaschine vorzugsweise ein Verhältnis eines Energieanteils an Gasbrennstoff zu einem Energieanteil an Flüssigbrennstoff von mindestens 2:8 bis höchstens 9:1, vorzugsweise von mindestens 1:1 bis höchstens 9:1, vorzugsweise von mindestens 6:4 bis höchstens 8:2, besonders bevorzugt 7:3 zugeführt. Dabei bezeichnet der Begriff „Energieanteil“ einen auf einen Brennstoff entfallenden
25 Anteil an der dem Brennraum insgesamt in Form der Brennstoffe zugeführten chemischen Energie. In dem Zweistoffbetrieb wird also bevorzugt eine Menge an Flüssigbrennstoff, deren Energieanteil mindestens einem Fünftel der in einem gegebenen Betriebspunkt insgesamt einzubringenden Energie entspricht, durch eine diesen Energieanteil aufweisende Menge an Gasbrennstoff substituiert. Mit Blick auf die Betriebskosten der Brennkraftmaschine und die
30 Emissionen derselben wird bevorzugt eine möglichst große Menge an Flüssigbrennstoff durch Gasbrennstoff substituiert, wobei besonders bevorzugt ein Verhältnis der Energieanteile zugunsten des Gasbrennstoffs von 7:3 verwirklicht wird. Dieses Verhältnis wird auch als Substitutionsrate bezeichnet. Die Substitutionsrate ist vorzugsweise abhängig von einem momentanen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine. Sie kann aber mithilfe des Verfahrens – bei

gegebenem Betriebspunkt – zumindest weitgehend unabhängig, vorzugsweise unabhängig von der Qualität des momentan verwendeten Gasbrennstoffs gehalten werden.

Der Flüssigbrennstoff wird bei dem Verfahren allerdings bevorzugt nicht als Zündöl verwendet, wobei in diesem Fall nur eine Kleinmenge an Flüssigbrennstoff zur Zündung des Gasbrennstoffs in den Brennraum der Brennkraftmaschine zugegeben würde. Vielmehr arbeitet die Brennkraftmaschine bevorzugt als Selbstzünder, wobei im Brennraum ein Gemisch aus dem Gasbrennstoff, dem Flüssigbrennstoff und der Verbrennungsluft im Zündzeitpunkt durch Selbstzündung entflammt wird. Dabei wird die dem Brennraum zugeführte Menge an Flüssigbrennstoff so gewählt, dass es sich hierbei nicht nur um eine Kleinst- oder Zündmenge handelt, sondern vielmehr um eine Menge, welche jedenfalls mitbestimmend für die Leistung beziehungsweise das abgegebene Drehmoment der Brennkraftmaschine ist. Diese Ausgestaltung hat den Vorteil, dass ohne weiteres eine bestehende, als Selbstzünder arbeitende Brennkraftmaschine, insbesondere ein Dieselmotor, auf den Betrieb im Rahmen des Verfahrens umgerüstet werden kann, wobei deren Betriebskosten und Emissionen hierdurch gesenkt beziehungsweise verbessert werden können.

Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass als Kennwert wenigstens ein Parameter ermittelt wird, der ausgewählt ist aus einer Gruppe bestehend aus einem stöchiometrischen Luftbedarf des Gasbrennstoffs, einer Dichte des Gasbrennstoffs, einem Heizwert des Gasbrennstoffs, einem Inertgasanteil des Gasbrennstoffs, und einem Verhältnis von Wasserstoff zu Kohlenstoff in dem Gasbrennstoff, das auch als H/C-Verhältnis bezeichnet wird. Jeder dieser Werte ist bereits für sich genommen charakteristisch für die Qualität des Gasbrennstoffs, insbesondere für dessen chemische Zusammensetzung. Es kann daher ein geregelter Betrieb der Brennkraftmaschine gewährleistet werden, wenn jedenfalls einer dieser Parameter als Kennwert im Rahmen des Verfahrens bestimmt und zur Ansteuerung der Brennkraftmaschine herangezogen wird. Es ist möglich, dass im Rahmen einer Ausführungsform des Verfahrens eine Kombination verschiedener der hier genannten Parameter oder auch alle hier genannten Parameter als Kennwerte ermittelt werden.

Besonders bevorzugt wird eine Ausführungsform des Verfahrens, bei welcher als Kennwert der stöchiometrische Luftbedarf des verwendeten Gasbrennstoffs ermittelt wird. Hierbei handelt es sich um das Verhältnis von einer für eine vollständige Verbrennung des Gasbrennstoffs nötigen stöchiometrischen Luftmenge zu der vollständig zu verbrennenden Menge an Gasbrennstoff. Als

stöchiometrischer Luftbedarf kann ein Massenverhältnis oder auch ein Volumenverhältnis unter Norm- oder Standardbedingungen angegeben werden. Insbesondere ist es möglich, dass der stöchiometrische Luftbedarf in Einheiten von Kilogramm Verbrennungsluft zu Kilogramm Gasbrennstoff oder von Normkubikmeter Verbrennungsluft zu Normkubikmeter Gasbrennstoff angegeben wird. Es ist unmittelbar offensichtlich, dass der stöchiometrische Luftbedarf charakteristisch ist für den Anteil brennbarer Stoffe in dem Gasbrennstoff, sodass er charakteristisch ist für die Qualität desselben.

Im Rahmen einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird der stöchiometrische Luftbedarf als Kennwert aus dem erfassten Lambdawert ermittelt, wobei wenigstens einer der anderen zuvor genannten Parameter aus dem stöchiometrischen Luftbedarf abgeleitet, insbesondere aus diesem berechnet wird. Insbesondere ist es möglich, dass aus dem ermittelten stöchiometrischen Luftbedarf die Dichte, der Heizwert, der Inertgasanteil und/oder das H/C-Verhältnis des Gasbrennstoffs abgeleitet, insbesondere berechnet oder abhängig von dem stöchiometrischen Luftbedarf aus Kennfeldern oder Kennlinien ausgelesen wird/werden. Besonders bevorzugt werden alle der genannten Parameter aus dem stöchiometrischen Luftbedarf abgeleitet.

Es wird eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass der Kennwert mittels eines Kennwertreglers ermittelt wird, wobei durch den Kennwertregler ein auf der Grundlage des Kennwerts berechneter Lambdawert mittels Variation des Kennwerts auf den erfassten Lambdawert geregelt wird. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil einer schnellen und stabilen Ermittlung des Kennwerts bei zugleich einfacher Implementierung. Der Kennwertregler variiert den Kennwert – vorzugsweise fortlaufend – in geeigneter Weise, um den auf der Grundlage des Kennwerts berechneten Lambdawert an den erfassten Lambdawert anzugleichen. Auf diese Weise ermittelt der Kennwertregler durch die Variation des Kennwerts einen numerischen Wert für denselben, welcher die Qualität des verwendeten Gasbrennstoffs sicher repräsentiert. Bevorzugt wird auf der Grundlage eines ersten numerischen Werts für den Kennwert der berechnete Lambdawert ermittelt, wobei dieser mit dem erfassten Lambdawert verglichen wird, und wobei auf der Grundlage des Vergleichs durch den Kennwertregler ein zweiter numerischer Wert für den Kennwert berechnet wird. Dies wird vorzugsweise fortlaufend oder iterativ durchgeführt. Dabei wird der Kennwertregler zu Beginn des Verfahrens bevorzugt mit einem Startwert initialisiert, der so gewählt ist, dass eine Gefährdung der Brennkraftmaschine im Betrieb ausgeschlossen ist. Da die Brennkraftmaschine insbesondere

durch eine Einbringung einer zu großen Energiemenge in den Brennraum gefährdet ist, wird für den Startwert zunächst bevorzugt angenommen, dass als Gasbrennstoff ein hochwertiges Gas mit einem hohen Heizwert und entsprechend einem hohen stöchiometrischen Luftbedarf verwendet wird. Dabei kann der Startwert vorteilhafterweise eine hohe oder höchste tatsächlich vorkommende Qualität der verwendeten Gasbrennstoffe repräsentieren. Wird die Brennkraftmaschine auf der Grundlage dieses Kennwerts angesteuert, kann verhindert werden, dass eine zu hohe Energiemenge in den Brennraum eingebracht wird. Der tatsächliche Kennwert des verwendeten Gasbrennstoffs wird dann im weiteren Verlauf des Verfahrens durch den Kennwertregler ermittelt, wobei der Kennwert entsprechend angepasst wird.

10

Wird der Kennwert mittels des Kennwertreglers ermittelt, wird der Berechnung des berechneten Lambdawerts vorzugsweise außer dem Kennwert noch wenigstens eine der folgenden Größen zugrunde gelegt: Eine dem Brennraum zugeführte Masse an Flüssigbrennstoff, eine dem Brennraum zugeführte Luftmenge, sowie die dem Brennraum zugeführte Gasmenge, insbesondere entweder das dem Brennraum zugeführte Volumen an Gasbrennstoff oder die dem Brennraum zugeführte Masse an Gasbrennstoff. Statt der Berechnung direkt die dem Brennraum zugeführte Luftmenge zugrunde zu legen, ist es auch möglich, den Ladeluftdruck und die Ladelufttemperatur heranzuziehen, insbesondere zur Berechnung des Volumens der zugeführten Verbrennungsluft. Außerdem geht in die Berechnung vorzugsweise ein Füllungsverhalten der Brennkraftmaschine ein, sowie bevorzugt ein stöchiometrischer Luftbedarf des Flüssigbrennstoffs.

15

20

Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass der Kennwert berechnet wird, indem aus einem von einem ersten numerischen Wert für den Kennwert abhängigen oder abgeleiteten Wert für einen Parameter der Brennkraftmaschine, und aus dem erfassten Lambdawert ein zweiter numerischer Wert für den Kennwert berechnet wird. In diesem Fall kann auf einen Regler für den Kennwert verzichtet werden, vielmehr wird ein bekannter, analytischer Zusammenhang zwischen dem erfassten Lambdawert und dem Kennwert zur Berechnung des Kennwerts verwendet. Das Verfahren wird vorzugsweise fortlaufend oder iterativ – insbesondere mit der Taktung des Motorsteuergeräts – durchgeführt, sodass stets auf der Grundlage des zuletzt berechneten numerischen Werts des Kennwerts ein neuer numerischer Wert berechnet wird. Auch bei dieser Vorgehensweise bedarf es einer Initialisierung zu Beginn des Verfahrens, um den abgeleiteten Wert für den Parameter der Brennkraftmaschine zu bestimmen. Auch hierbei wird vorzugsweise der Startwert so gewählt, dass ein sicherer Betrieb der Brennkraftmaschine

25

30

gewährleistet ist, wobei vorzugsweise ein Wert herangezogen wird, der für einen Gasbrennstoff hoher oder höchster zu erwartender Qualität charakteristisch ist.

Als abhängiger oder abgeleiteter Wert für einen Parameter der Brennkraftmaschine wird
5 vorzugsweise eine dem Brennraum zugeführte Menge an Gasbrennstoff, insbesondere ein zugeführtes Volumen an Gasbrennstoff, herangezogen, wobei die Gasbrennstoff-Menge über eine Zuführeinrichtung bestimmt wird, die auf der Grundlage des Kennwerts und/oder einer aus dem Kennwert ermittelten Dichte des Gasbrennstoffs angesteuert wird. Aus diesem abhängigen
10 oder abgeleiteten Wert und dem erfassten Lambdawert kann dann der nächste numerische Wert für den Kennwert berechnet werden. Dabei werden bevorzugt weitere Größen in die Berechnung einbezogen, insbesondere wenigstens eine der folgenden Größen: Eine dem Brennraum zugeführte Menge, insbesondere Masse, an Flüssigbrennstoff, und eine dem Brennraum zugeführte Menge an Verbrennungsluft, insbesondere ein – vorzugsweise aus der Ladelufttemperatur und dem Ladeluftdruck berechnetes – dem Brennraum zugeführtes Volumen
15 an Verbrennungsluft.

Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass aus dem Kennwert wenigstens eine Korrekturgröße zur Korrektur eines den Lambdawert bestimmenden Messwerts ermittelt wird, wobei durch Korrigieren des Messwerts der erfasste
20 Lambdawert erhalten wird. Dabei wird insbesondere der Messwert mit der Korrekturgröße korrigiert, und der erfasste Lambdawert wird aus dem korrigierten Messwert berechnet. In diesem Zusammenhang zeigt sich, dass Lambdasonden typischerweise nicht direkt den Lambdawert messen, sondern vielmehr eine Sauerstoffkonzentration im Abgas. Aus diesem Messwert wird dann der Lambdawert bestimmt. Die wenigstens eine Korrekturgröße ist
25 vorzugsweise ausgewählt aus einer Gruppe bestehend aus einem Inertgasanteil des Gasbrennstoffs und dessen H/C-Verhältnis. Es ist auch möglich, dass der Inertgasanteil aus dem Kennwert ermittelt wird, wobei das H/C-Verhältnis auf der Grundlage bestimmter Kenntnisse über den Gasbrennstoff angenommen wird, wobei auch ein über eine Mehrzahl von Gasbrennstoffen gemittelter Wert oder ein berechneter Wert verwendet werden kann. Es ist aber
30 auch eine Ausführungsform des Verfahrens möglich, bei welcher der Lambdawert aus der gemessenen Restsauerstoffkonzentration und bestimmten, angenommenen Werten für den Inertgasanteil und das H/C-Verhältnis des Gasbrennstoffs berechnet wird, ohne dass eine Korrekturgröße aus dem Kennwert ermittelt wird. Die Ermittlung wenigstens einer Korrekturgröße aus dem Kennwert hat aber den Vorteil, dass eine realistische Kenntnis der

tatsächlich vorliegenden Gaseigenschaften des Gasbrennstoffs auch der Ermittlung des erfassten Lambda-Werts zugrunde gelegt werden kann. Alternativ oder zusätzlich ist bevorzugt vorgesehen, dass der Messwert der Lambdasonde anhand des am Ort der Lambdasonde herrschenden Abgasdrucks korrigiert wird.

5

Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass der wenigstens eine Kennwert zur Steuerung einer einzudosierenden Menge an Gasbrennstoff verwendet wird. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass die einzudosierende Menge an Gasbrennstoff stets auf der Grundlage einer realistischen Kenntnis der tatsächlichen

10 Qualität des verwendeten Gasbrennstoffs erfolgen kann, wobei einem Brennraum der Brennkraftmaschine stets eine angemessene Energiemenge zugeführt werden kann.

15

Bevorzugt wird der wenigstens eine Kennwert insbesondere zur Ansteuerung eines Gasventils verwendet, besonders bevorzugt eines Gasventils, welches – insbesondere über einen CAN-Bus – direkt mit einem gewünschten Durchfluss oder Volumenstrom für den Gasbrennstoff

ansteuerbar ist. Dabei ist das Gasventil bevorzugt eingerichtet, um selbsttätig einen Gaseinlassdruck, eine Gastemperatur und bevorzugt auch eine über dem Ventil abfallende Druckdifferenz zu messen, und aus dem als Vorgabewert übermittelten Durchfluss oder Volumenstrom eine zu dessen Verwirklichung geeignete Ventilposition zu ermitteln. Dem

20 Gasventil wird hierzu bevorzugt auch die als Kennwert oder insbesondere aus dem Kennwert ermittelte Dichte des Gasbrennstoffs als Parameter zur Ansteuerung übermittelt. Mithilfe eines solchen, auch als TecJet bekannten Gasventils ist eine hochgenaue und zugleich einfache Steuerung der einzudosierenden Menge an Gasbrennstoff möglich.

25

Vorzugsweise wird der Gasbrennstoff stromaufwärts eines Verdichters in eine Ladeluftleitung der Brennkraftmaschine eindosiert. Es ist möglich, dass an dieser Stelle der Ladeluftleitung ein Venturi-Mischer vorgesehen ist, durch welchen der Gasbrennstoff mit der Verbrennungsluft mischbar ist. Das so erzeugte Gemisch aus Gasbrennstoff und Verbrennungsluft wird dann von dem Verdichter verdichtet und dem wenigstens einen Brennraum der Brennkraftmaschine

30 zugeführt. Alternativ ist allerdings auch eine Eindosierung des Gasbrennstoff stromabwärts des Verdichters, oder unmittelbar stromaufwärts eines Einlasses in den wenigstens einen Brennraum der Brennkraftmaschine – insbesondere als Saugrohreinspritzung – möglich. Dabei kann auch eine zylinderindividuelle Eindosierung von Gasbrennstoff vorgesehen sein. Schließlich ist es auch möglich, dass der Gasbrennstoff unmittelbar in den wenigstens einen Brennraum

eingbracht, insbesondere eingedüst wird. Selbstverständlich ist eine entsprechende Eindosierung des Gasbrennstoffs auch bei einer Brennkraftmaschine möglich, die keinen Verdichter aufweist.

- 5 Der Flüssigbrennstoff wird im Rahmen des Verfahrens vorzugsweise direkt in den Brennraum eingebracht, insbesondere über einen hierfür vorgesehenen Injektor.

- Der wenigstens eine Kennwert geht vorzugsweise in eine Gasbrennstoff-Lambdawert-Steuerung ein, durch welche das Gasventil angesteuert wird. Außerdem geht in die Gasbrennstoff-Lambdawert-Steuerung ein Gasbrennstoff-Lambda-Sollwert ein, der abhängig von einem Drehmoment sowie einer Drehzahl der Brennkraftmaschine aus einem Kennfeld ausgelesen wird. Über den Gasbrennstoff-Lambda-Sollwert wird letztlich die eindosierte Menge an Gasbrennstoff gesteuert, wobei zu deren korrekten Bestimmung der wenigstens eine Kennwert herangezogen wird. Weiterhin werden der Gasbrennstoff-Lambdawert-Steuerung zusätzlich vorzugsweise der Ladeluftdruck sowie die Ladelufttemperatur zugrunde gelegt.
- 10
15

- Als Ergebnis der Gasbrennstoff-Lambdawert-Steuerung resultiert vorzugsweise ein Ansteuerwert für das Gasventil, insbesondere ein Durchfluss oder ein durch das Gasventil einzudosierender Volumenstrom. Außerdem resultiert als Ergebnis bevorzugt eine in den wenigstens einen Brennraum der Brennkraftmaschine eingebrachte Gasbrennstoff-Menge, insbesondere eine Gasbrennstoff-Masse oder ein Gasbrennstoff-Volumen. Diese wird vorzugsweise gemeinsam mit einer in den wenigstens einen Brennraum eingebrachten Menge, insbesondere Masse, an Flüssigbrennstoff einer Drehmomentberechnung zugrunde gelegt, wobei das so berechnete Drehmoment wiederum als Eingangswert für das Kennfeld zur Ermittlung des Gasbrennstoff-Lambda-Sollwerts herangezogen wird.
- 20
25

- Weiterhin wird vorzugsweise mittels eines Drehzahlreglers die in den wenigstens einen Brennraum einzubringende Menge, insbesondere Masse, an Flüssigbrennstoff berechnet, wobei der Drehzahl-Regler als Eingangswert die Drehzahl der Brennkraftmaschine aufweist. Diese wird wiederum ebenfalls als Eingangswert für das Kennfeld zur Ermittlung des Gasbrennstoff-Lambda-Sollwerts verwendet.
- 30

Somit zeigt sich, dass die Drehzahl der Brennkraftmaschine vorzugsweise direkt über die zudosierte Menge an Flüssigbrennstoff geregelt wird, wobei diese Regelung in für

selbstzündende Brennkraftmaschinen, insbesondere Dieselmotoren, typischer Weise sehr schnell, insbesondere in Echtzeit, und sehr genau erfolgen kann. Mit der Anpassung der in den wenigstens einen Brennraum eingebrachten Masse an Flüssigbrennstoff durch den Drehzahl-Regler ändert sich auch das ermittelte Drehmoment, was sich letztlich auf den aus dem Kennfeld
5 ausgelesenen Gasbrennstoff-Lambda-Sollwert auswirkt, der wiederum vermittelt über die Gasbrennstoff-Lambda-Wert-Steuerung auf die Dosierung des Gasbrennstoffs mittels des Gasventils wirkt. Wird daher der Lastpunkt der Brennkraftmaschine verschoben, passt sich diese dem veränderten Lastpunkt zunächst durch Anpassung der zugeführten Masse an Flüssigbrennstoff an, wobei nachgelagert auch eine Anpassung der eindosierten Menge an
10 Gasbrennstoff erfolgt.

Dabei ist vorzugsweise eine Transientüberwachungseinrichtung vorgesehen, mittels welcher ein Verhältnis der Gesamtverbrennungsluft zur Gesamtmenge an Brennstoff – also Gasbrennstoff und Flüssigbrennstoff – nach unten, also zu fetteren Gemischzusammensetzungen hin, begrenzt
15 wird.

Die Aufgabe wird insbesondere auch gelöst, indem eine Brennkraftmaschine geschaffen wird, welche eine ansteuerbare Zuführeinrichtung für einen Gasbrennstoff – mittelbar oder unmittelbar – in wenigstens einen Brennraum der Brennkraftmaschine aufweist. Es ist ein mit dem
20 Brennraum verbundener Abgasstrang vorgesehen, wobei die Brennkraftmaschine eine in dem Abgasstrang angeordnete Lambdasonde aufweist. Außerdem weist die Brennkraftmaschine eine Steuereinrichtung auf, die eingerichtet ist zur Erfassung eines Lambda-Werts im Abgas der Brennkraftmaschine, zum Ermitteln wenigstens eines für eine Qualität des Gasbrennstoffs charakteristischen Kennwerts aus dem erfassten Lambda-Wert, und zum Ansteuern der
25 Brennkraftmaschine auf der Grundlage des wenigstens einen Kennwerts. In Zusammenhang mit der Brennkraftmaschine ergeben sich die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Verfahren erläutert wurden.

Die Zuführeinrichtung für den Gasbrennstoff ist vorzugsweise stromaufwärts eines Verdichters
30 in einem Ladeluftstrang der Brennkraftmaschine vorgesehen. Dabei weist die Zuführeinrichtung bevorzugt ein – insbesondere bezüglich seiner bevorzugten Funktionalität in Zusammenhang mit dem Verfahren näher beschriebenes – Gasventil auf, insbesondere ein sogenanntes TecJet.

Die Steuereinrichtung ist einerseits mit der Zuführeinrichtung zu deren Ansteuerung wirkverbunden, und andererseits mit der Lambdasonde zur Erfassung des Lambdawerts in dem Abgasstrang. Insbesondere ist die Steuereinrichtung eingerichtet zur Durchführung eines Verfahrens nach einer der zuvor beschriebenen Ausführungsformen.

5

Dabei ist es möglich, dass ein solches Verfahren fest in eine elektronische Struktur, insbesondere eine Hardware, der Steuereinrichtung implementiert ist. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass in die Steuereinrichtung ein Computerprogrammprodukt geladen ist, welches Anweisungen aufweist, aufgrund derer ein solches Verfahren durchgeführt wird, wenn das

10

Computerprogrammprodukt auf der Steuereinrichtung läuft.

Es ist möglich, dass die Steuereinrichtung als Motorsteuergerät der Brennkraftmaschine (Engine Control Unit – ECU) ausgebildet ist. Alternativ ist es möglich, dass die Brennkraftmaschine eine separate Steuereinrichtung zur Durchführung des Verfahrens aufweist.

15

Die Steuereinrichtung weist vorzugsweise ein Klopfregelungsmittel auf, das bevorzugt mit wenigstens einem Körperschallsensor zur Klopferkennung wirkverbunden ist. Es ist möglich, dass jedem Brennraum der Brennkraftmaschine ein eigener Körperschallsensor zur zylinderindividuellen Klopferkennung zugeordnet ist. Vorzugsweise ist das

20

Klopfregelungsmittel eingerichtet, um die Substitutionsrate – insbesondere zylinderindividuell – zu verringern, wenn eine klopfende Verbrennung erkannt wird.

Die Brennkraftmaschine ist vorzugsweise als selbstzündende Brennkraftmaschine eingerichtet und insbesondere für einen Zweistoffbetrieb ausgelegt. Hierfür weist die Brennkraftmaschine vorzugsweise eine Flüssigbrennstoff-Zuführeinrichtung, insbesondere wenigstens einen Injektor für wenigstens einen Brennraum der Brennkraftmaschine, insbesondere für jeden Brennraum mindestens einen dem Brennraum zugeordneten Injektor, auf.

25

Bevorzugt ist die Brennkraftmaschine als Viertakt-Hubkolbenmotor mit einer Mehrzahl von Zylindern, insbesondere mit vier, sechs, acht, zwölf, sechzehn, achtzehn oder zwanzig Zylindern, ausgebildet. Eine Brennkraftmaschine der hier angesprochenen Art wird besonders bevorzugt in einem stationären Betrieb verwendet, insbesondere im Bereich der Förderung fossiler Brennstoffe, ganz besonders im Bereich der Öl- und/oder Gasförderung. Dabei ist es besonders bevorzugt möglich, im Rahmen der Förderung gefördertes Gas als Gasbrennstoff für die

30

Brennkraftmaschine einzusetzen. Die Brennkraftmaschine ist bevorzugt eingerichtet als Pumpenantrieb, beispielsweise als Antrieb für eine Feuerlöschpumpe, für einen Antrieb einer Förderpumpe, zur Stromerzeugung, und/oder zum Einbringen eines Mittels zur hydraulischen Frakturierung (Fracking) in eine Bohrung.

5

Es wird ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine bevorzugt, das sich dadurch auszeichnet, dass die Lambdasonde als Breitband-Lambdasonde ausgebildet ist. Hierdurch ist es insbesondere möglich, die Brennkraftmaschine mit einem mageren Gemisch von Brennstoff und Verbrennungsluft zu betreiben. Im Betrieb der Brennkraftmaschine wird dabei vorzugsweise ein

10 Lambdawert von mindestens 1,7 bis höchstens 3,5, vorzugsweise von mindestens 2 bis höchstens 3, besonders bevorzugt von 2,4, verwirklicht.

Schließlich wird ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine bevorzugt, das sich dadurch auszeichnet, dass dem wenigstens einen Brennraum eine Dosiereinrichtung zur Eindosierung von

15 Flüssigbrennstoff direkt in dem Brennraum – insbesondere ein Injektor – zugeordnet ist. Vorzugsweise ist jedem Brennraum der Brennkraftmaschine eine solche Dosiereinrichtung zugeordnet. Auf diese Weise ist insbesondere eine zylinderindividuelle Eindosierung von Flüssigbrennstoff möglich.

20 Die Brennkraftmaschine ist – wie bereits ausgeführt – vorzugsweise als Hubkolbenmotor ausgebildet. Bei einem weiteren 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

25 Antrieb eines der Verteidigung dienenden Fahrzeugs, beispielsweise eines Panzers, ist möglich. Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine wird vorzugsweise 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

30 Hilfsaggregaten, beispielsweise von Feuerlöschpumpen auf Bohrinseln, ist möglich. Weiterhin ist eine Anwendung der Brennkraftmaschine – wie bereits ausgeführt – im Bereich der Förderung fossiler Roh- und insbesondere Brennstoffe, beispielsweise Öl und/oder Gas, möglich. Auch eine Verwendung der Brennkraftmaschine im industriellen Bereich oder im

Konstruktionsbereich, beispielsweise in einer Konstruktions- oder Baumaschine, zum Beispiel in einem Kran oder einem Bagger, ist möglich.

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

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

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine;

20 Figur 2 eine schematische Detaildarstellung einer ersten Ausführungsform des Verfahrens;

Figur 3 eine schematische Detaildarstellung einer zweiten Ausführungsform des Verfahrens, und

25 Figur 4 eine weitere Detaildarstellung des Verfahrens.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine 1 mit einer ansteuerbaren Zuführeinrichtung 3, die eingerichtet ist zur – mittelbaren – Zuführung
30 eines Gasbrennstoffs in einen Brennraum 5 der Brennkraftmaschine 1. Mit dem Brennraum 5 ist ein Abgasstrang 7 verbunden, wobei in dem Abgasstrang 7 eine Lambdasonde 9, hier insbesondere eine Breitband-Lambdasonde 11 angeordnet ist. Weiterhin ist eine Steuereinrichtung 13 vorgesehen, die eingerichtet ist, um einen Lambdawert im Abgas der Brennkraftmaschine 1 zu erfassen, und um wenigstens einen für eine Qualität des Gasbrennstoffs

charakteristischen Kennwert aus dem erfassten Lambdawert zu ermitteln. Außerdem ist die Steuereinrichtung 13 eingerichtet, um die Brennkraftmaschine 1 auf der Grundlage des wenigstens einen Kennwerts anzusteuern.

- 5 Hierzu ist die Steuereinrichtung 13 insbesondere mit der Lambdasonde 9 und mit der Zuführeinrichtung 3 wirkverbunden.

Die Brennkraftmaschine 1 ist außerdem eingerichtet, um in einem Zweistoffbetrieb betrieben zu werden, wobei dem Brennraum 5 neben dem Gasbrennstoff auch ein Flüssigbrennstoff zuführbar
10 ist. Hierzu weist die Brennkraftmaschine 1 eine Dosiereinrichtung 15, insbesondere einen Injektor 17 auf, durch welchen der Flüssigbrennstoff direkt in den Brennraum 5 eindosierbar ist.

Die Brennkraftmaschine 1 ist vorzugsweise als Hubkolbenmaschine ausgebildet, insbesondere als Viertaktmotor, wobei in für sich genommen bekannter Weise in dem Brennraum 5 ein
15 Kolben 19 verlagerbar angeordnet ist. Vorzugsweise weist die Brennkraftmaschine 1 eine Mehrzahl von Brennräumen 5 und darin verlagerbar angeordneten Kolben 19 auf, wobei bevorzugt jedem Brennraum 5 eine Dosiereinrichtung 15 zur zylinderindividuellen Eindüsung von Flüssigbrennstoff zugeordnet ist. Ebenso ist selbstverständlich jedem Brennraum 5 separat ein Kolben 19 zugeordnet.

20

Bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel weist die Zuführeinrichtung 3 einen Venturi-Mischer 21 auf, der stromaufwärts von einem Verdichter 23 in einer Ladeluftleitung 25
angeordnet ist. Über die Ladeluftleitung 25 ist dem Venturi-Mischer 21 Verbrennungsluft zuführbar.

25

Über eine Gaszuleitung 27 ist dem Venturi-Mischer 21 Gasbrennstoff zuführbar, wobei in der Gaszuleitung 27 ein Gasventil 29 angeordnet ist, welches mit der Steuereinrichtung 13
wirkverbunden und somit durch diese ansteuerbar ist. Bevorzugt ist das Gasventil 29 als sogenanntes TecJet ausgebildet, wobei es durch die Steuereinrichtung 13 – vorzugsweise über
30 einen CAN-Bus – mit einem einzustellenden Gasbrennstoff-Volumenstrom angesteuert wird, wobei das Gasventil 29 selbstständig einen stromaufwärts des Gasventils 29 herrschenden Gasbrennstoff-Druck, eine Temperatur des Gasbrennstoffs und einen über dem Gasventil 29 abfallenden Differenzdruck bestimmt und eine geeignete Ventilposition einstellt, um den

vorherbestimmten, durch die Steuereinrichtung 13 vorgegebenen Gasbrennstoff-Volumenstrom durch das Gasventil 29 zu verwirklichen. Hierzu wird dem Gasventil 29 zusätzlich bevorzugt eine als Kennwert oder aus dem Kennwert ermittelte Dichte als Parameter zur Ansteuerung zugeführt.

5

Der Verdichter 23 ist bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine 1 als Kompressor ausgebildet. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine 1 ist es möglich, dass der Verdichter 23 als Verdichter eines Abgasturboladers ausgebildet ist, der von einer in Figur 1 nicht dargestellten Turbine antreibbar ist, die in dem Abgasstrang 7 angeordnet ist.

10

Die Zuführeinrichtung 3 ist vorzugsweise stromaufwärts einer Aufteilung des durch den Venturi-Mischer 21 erzeugten Verbrennungsluft/Gasbrennstoff-Gemischs auf die einzelnen Brennräume 5 vorgesehen, somit für alle Brennräume 5 gemeinsam. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel ist es möglich, dass eine brennraumindividuelle Gaszuführeinrichtung 3 vorgesehen ist, entweder in Form einer zylinderindividuellen Saugrohreindüsung, oder aber in Form einer Eindüsung unmittelbar in die einzelnen Brennräume 5, insbesondere mithilfe hierzu vorgesehener Gasinjektoren. Dabei ist es auch möglich, dass die Brennkraftmaschine 1 keinen Verdichter aufweist.

15

20

Die Steuereinrichtung 13 ist vorzugsweise als Motorsteuergerät (Engine Control Unit – ECU) der Brennkraftmaschine 1 ausgebildet.

Die Steuereinrichtung 13 ist zur Erfassung einer dem Brennraum 5 zugeführten

25

Verbrennungsluftmenge, insbesondere eines dem Brennraum 5 zugeführten Volumens an Verbrennungsluft, mit einem Ladedrucksensor 31 und einem Ladelufttemperatursensor 33 wirkverbunden. Diese sind bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel stromabwärts des Verdichters 23 und insbesondere stromabwärts des Venturi-Mischers 21 angeordnet. Da die Brennkraftmaschine 1 vorzugsweise mit einem mageren Gemisch bei

30

Verbrennungsluftüberschuss betrieben wird, kann trotz des an dieser Stelle in der Ladeluftleitung vorhandenen Gasbrennstoffs mithilfe der Sensoren 31, 33 ein hinreichend genauer Wert für die dem Brennraum 5 zugeführte Menge an Verbrennungsluft ermittelt werden.

Die Steuereinrichtung 13 ist auch mit der Dosiereinrichtung 15 wirkverbunden, um eine dem Brennraum 5 zugeführte Menge an Flüssigbrennstoff steuern zu können.

Weiterhin ist noch ein Drehzahlsensor 35 vorgesehen, mit welchem die Steuereinrichtung 13
5 wirkverbunden ist, um eine Drehzahl der Brennkraftmaschine 1 zu erfassen.

Die Ladeluftleitung 25 ist über mindestens ein Einlassventil 37 mit dem Brennraum 5 in Fluidverbindung, wobei der Abgasstrang 7 über mindestens ein Auslassventil 39 mit dem Brennraum 5 in Fluidverbindung ist.

10

Dadurch, dass die Steuereinrichtung 13 eingerichtet ist, um aus dem mittels der Lambdasonde 9 erfassten Lambdawert einen für die Qualität des Gasbrennstoffs charakteristischen Kennwert zu ermitteln, ist es stets möglich, das Gasventil 29 so anzusteuern, dass dem Brennraum 5 eine unter Berücksichtigung der Qualität des Gasbrennstoffs einerseits und des aktuellen Betriebspunkts
15 der Brennkraftmaschine andererseits geeignete Menge an Gasbrennstoff zugeführt wird. Hierzu bedarf es weder einer aufwändigen chemischen Analyse des verwendeten Gasbrennstoffs, noch einer Zylinderdruckindizierung oder einer Temperaturmessung in dem Brennraum 5 zur Ermittlung der Verbrennungseigenschaften des Gasbrennstoffs.

20 **Fig. 2** zeigt eine schematische Detaildarstellung einer ersten Ausführungsform des Verfahrens. Dabei wird der Kennwert 41, welcher bei dieser Ausführungsform gerade der stöchiometrische Luftbedarf 43 des Gasbrennstoffs ist, mittels eines Kennwertreglers 45 ermittelt. Hierzu wird ein auf der Grundlage des Kennwerts berechneter Lambdawert 47 mit dem durch die Lambdasonde 9 erfassten Lambdawert 49 verglichen, wobei der Kennwertregler 45 den Kennwert 41 derart
25 variiert, dass der berechnete Lambdawert 47 auf den erfassten Lambdawert 49 geregelt wird. Eine Abweichung zwischen dem berechneten Lambdawert und dem erfassten Lambdawert 49 wird also durch den Kennwertregler 45 durch Anpassen des Kennwerts 41 minimiert. Auf diese Weise kann ein die Qualität des tatsächlich verwendeten Gasbrennstoffs charakterisierender Kennwert 41, hier insbesondere dessen stöchiometrischer Luftbedarf 43, erhalten werden.

30

Dieses Regelungsverfahren wird vorzugsweise fortlaufend und permanent durchgeführt. Dabei wird die Regelung bei einem Start des Verfahrens zunächst mit einem Kennwert 41 initialisiert, der einer hohen oder höchsten anzunehmenden, realistischen Qualität des Gasbrennstoffs entspricht, hier mithin einem hohen oder höchsten anzunehmenden stöchiometrischen Luftbedarf

43. Es wird also angenommen, dass ein möglichst hochwertiger Gasbrennstoff verwendet wird, was dazu führt, dass letztlich die dem Brennraum 5 zugeführte Menge an Gasbrennstoff zunächst eher zu klein, keinesfalls jedoch zu groß ausfällt, sodass der Brennraum 5 vor dem Einbringen einer unerwünscht hohen Energiemenge und somit die Brennkraftmaschine 1 vor einer
5 Beschädigung geschützt wird. Durch den Kennwertregler 45 wird dann im folgenden Verlauf des Verfahrens der Kennwert 41 an den tatsächlichen Wert für den tatsächlich verwendeten Gasbrennstoff angepasst.

Im Rahmen des Verfahrens wird aus dem mittels des Kennwertreglers 45 ermittelten
10 stöchiometrischen Luftbedarf 43 wenigstens eine weitere charakteristische Größe für den Gasbrennstoff ermittelt, insbesondere berechnet und/oder bevorzugt aus einem Kennfeld oder einer Kennlinie ausgelesen, bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel insbesondere eine Dichte 51, ein Heizwert 53, ein Inertgasanteil 55, und ein H/C-Verhältnis 56 des Gasbrennstoffs. Die so ermittelten, charakteristischen Kennwerte für den Gasbrennstoff können insgesamt als
15 Gaseigenschaften 57 zusammengefasst werden.

Der erfasste Lambdawert 49 wird im Rahmen der hier dargestellten Ausführungsform in folgender Weise bestimmt: Die Lambdasonde 9 übermittelt an die Steuereinrichtung 13 einen den Lambdawert bestimmenden Messwert 59, hier konkret eine Sauerstoffkonzentration im
20 Abgas der Brennkraftmaschine 1. Der erfasste Lambdawert 49 wird in einem Lambdawert-Berechnungsschritt 61 – vorzugsweise durch die Steuereinrichtung 13 – berechnet, wobei der Berechnung wenigstens eine Korrekturgröße 63 zugrunde gelegt wird, mit welcher/welchen der Messwert 59 korrigiert wird, hier konkret zwei Korrekturgrößen 63, nämlich ein – vorzugsweise mittleres – H/C-Verhältnis 56 des Gasbrennstoffs sowie ein Inertgas-Korrekturwert 67. Dabei ist
25 es möglich, dass das H/C-Verhältnis 65 und der Inertgas-Korrekturwert 67 – insbesondere als Mittelwerte für verschiedene Gasbrennstoffe – angenommen werden. Alternativ ist es möglich, dass wenigstens eine der beiden Korrekturgrößen 63 aus dem stöchiometrischen Luftbedarf 43 ermittelt wird. Insbesondere ist es möglich, dass als Inertgas-Korrekturwert 67 der Inertgasanteil 55 verwendet wird, oder dass der aus dem stöchiometrischen Luftbedarf 43 ermittelte
30 Inertgasanteil 55 zur Berechnung des Inertgas-Korrekturwerts 67 herangezogen wird. Es ist auch möglich, dass das aus dem stöchiometrischen Luftbedarf 43 ermittelte H/C-Verhältnis 56 als Korrekturgröße 63 verwendet wird. Alternativ oder zusätzlich wird der Messwert 59 noch mit dem am Ort der Lambdasonde 9 gemessenen Abgasdruck korrigiert, zu dessen Erfassung die Brennkraftmaschine 1 vorzugsweise einen in unmittelbarer Nähe der Lambdasonde 9

angeordneten Abgasdrucksensor aufweist, der vorzugsweise mit der Steuereinrichtung 13 wirkverbunden ist.

Es zeigt sich noch, dass in die Berechnung des berechneten Lambdawerts 47 aus dem Kennwert 41 bevorzugt noch eine dem Brennraum 5 zugeführte Flüssigbrennstoff-Masse 69, eine dem Brennraum 5 zugeführte Gasbrennstoff-Menge 71, insbesondere eine Gasbrennstoff-Masse oder ein Gasbrennstoff-Volumen, sowie eine dem Brennraum 5 zugeführte Verbrennungsluftmenge 73, insbesondere eine Verbrennungsluft-Masse oder ein Verbrennungsluft-Volumen, einbezogen werden. Weiterhin ist es möglich, dass in die Berechnung des berechneten Lambdawerts 47 ein Füllungsverhalten der Brennkraftmaschine 1 sowie der stöchiometrische Luftbedarf des Flüssigbrennstoffs eingehen.

Fig. 3 zeigt eine Detaildarstellung analog zu Figur 2 einer zweiten Ausführungsform des Verfahrens. Gleiche und funktionsgleiche Elemente sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die vorangegangene Beschreibung verwiesen wird. Im Unterschied zu der ersten Ausführungsform gemäß Figur 2 wird hier der Kennwert 41, konkret der stöchiometrische Luftbedarf 43 des Gasbrennstoffs, mittels eines Kennwert-Berechnungsschritts 75 berechnet, indem aus einem aktuellen Wert des Kennwerts 41 ein Wert 77 für einen Parameter der Brennkraftmaschine 1 und aus dem erfassten Lambdawert 49 ein neuer Wert für den Kennwert 41 berechnet wird. Diese Verfahrensweise wird iterativ durchgeführt. Konkret zeigt sich hier, dass als Wert 77 für den Parameter der Brennkraftmaschine 1 ein dem Brennraum 5 in dem vorhergehenden Iterationsschritt zugeführtes Gasbrennstoff-Volumen 79 herangezogen wird, das aus der Ansteuerung des Gasventils 29 resultiert, wobei zu einer korrekten Dosierung die aus dem stöchiometrischen Luftbedarf 43 abgeleitete Dichte 51 herangezogen wird, wobei aus dem Gasbrennstoff-Volumen 79 sowie weiterer, hier zusammengefasster Größen 81 sowie dem erfassten Lambdawert 49 durch den Kennwert-Berechnungsschritt 75 ein neuer Wert für den stöchiometrischen Luftbedarf 43 berechnet wird. Bei den Größen 81 handelt es sich bevorzugt um eine dem Brennraum 5 zugeführte Masse an Flüssigbrennstoff sowie um ein dem Brennraum 5 zugeführtes Volumen an Verbrennungsluft. Dabei wird der stöchiometrische Luftbedarf 43 in dem Kennwert-Berechnungsschritt 75 bevorzugt nach folgender Formel berechnet:

$$L_{StöGas} = \frac{V_L - \lambda_A \frac{m_{Fl}}{\rho_L} L_{StöFl}}{\lambda_A V_{Gas}}, \quad (1)$$

wobei $L_{\text{StöGas}}$ der stöchiometrische Luftbedarf des Gasbrennstoffs, $L_{\text{StöFl}}$ der stöchiometrische Luftbedarf des Flüssigbrennstoffs, m_{Fl} die dem Brennraum 5 zugeführte Masse an Flüssigbrennstoff, ρ_L die Dichte der dem Brennraum 5 zugeführten Verbrennungsluft, V_{Gas} das dem Brennraum 5 zugeführte Volumen an Gasbrennstoff, V_L das dem Brennraum 5 zugeführte Volumen an Verbrennungsluft, und λ_A der in dem Abgasstrang 7 erfasste Lambdawert ist.

In Figur 3 ist auch angedeutet, dass der aus dem stöchiometrischen Luftbedarf 43 ermittelte Inertgasanteil 55 zur Berechnung des Inertgas-Korrekturwerts 67 oder als Inertgas-Korrekturwert 67 verwendet wird.

10

Fig. 4 zeigt eine weitere schematische Darstellung einer Ausführungsform des Verfahrens. Gleiche und funktionsgleiche Elemente sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die vorangegangene Beschreibung verwiesen wird. Anhand von Figur 4 zeigt sich, dass die gemäß einer der zuvor beschriebenen Ausführungsformen des Verfahrens ermittelten Gaseigenschaften 57, insbesondere der Kennwert 41, zur Steuerung einer einzudosierenden Menge an Gasbrennstoff verwendet werden. Hierzu werden diese einer Gasbrennstoff-Lambdawert-Steuerung 83 zugeführt, durch welche das Gasventil 29 angesteuert wird. Die Gasbrennstoff-Lambdawert-Steuerung bestimmt letztlich die dem Brennraum 5 zugeführte Menge an Gasbrennstoff durch entsprechende Ansteuerung des Gasventils 29. In die Gasbrennstoff-Lambdawert-Steuerung 83 gehen außerdem ein Gasbrennstoff-Lambda-Sollwert 85 sowie weitere Parameter 87 ein, welche eine dem Brennraum 5 zugeführte Menge an Verbrennungsluft charakterisieren. Dies sind bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel insbesondere der Ladedruck und die Ladelufttemperatur, sowie vorzugsweise die Drehzahl der Brennkraftmaschine 1, der Luftaufwand für den Brennraum 5, die Anzahl der Brennräume 5, das Hubvolumen der Brennkraftmaschine 1, und/oder wenigstens eine weitere relevante Größe.

Auf der Grundlage des Gasbrennstoff-Lambda-Sollwerts 85 und der Parameter 87 berechnet die Gasbrennstoff-Lambdawert-Steuerung 83 unter Berücksichtigung der Gaseigenschaften 57 eine einzudosierende Menge an Gasbrennstoff, insbesondere einen gewünschten Soll-Volumenstrom für den Gasbrennstoff, mit welchem das Gasventil 29 angesteuert wird. Dabei ist offensichtlich, dass die zur Erzielung des Gasbrennstoff-Lambda-Sollwerts 85 in den Brennraum 5 einzubringende Gasmenge von der Qualität des Gasbrennstoffs und ganz besonders von dessen stöchiometrischem Luftbedarf 43 abhängt. Zugleich berechnet die Gasbrennstoff-Lambdawert-Steuerung 83 die dem Brennraum 5 zugeführte Gasbrennstoff-Menge 71, insbesondere ein

30

Gasbrennstoff-Volumen oder eine Gasbrennstoff-Masse, die in einem Drehmoment-Bestimmungselement 91 zur Bestimmung eines Drehmoments 93 der Brennkraftmaschine 1 herangezogen wird. Außerdem geht in das Drehmoment-Bestimmungselement 91 eine dem Brennraum 5 zugeführte Flüssigbrennstoff-Masse 95 ein. Auf der Grundlage der
5 Flüssigbrennstoff-Masse 95 und der Gasbrennstoff-Menge 71 berechnet das Drehmoment-Bestimmungselement 91 das aktuelle Drehmoment 93 der Brennkraftmaschine 1.

Die Flüssigbrennstoff-Masse 95 wird durch ein Drehzahl-Regelement 97 berechnet, welches als Eingangsgröße die durch den Drehzahlsensor 35 erfasste Drehzahl 99 der
10 Brennkraftmaschine 1 aufweist.

Die Drehzahl 99 und das Drehmoment 93 sind außerdem Eingangsgrößen eines Gasbrennstoff-Lambda-Sollwert-Kennfelds 101, in welchem Werte für den Gasbrennstoff-Lambda-Sollwert 85 in Abhängigkeit von dem Drehmoment 93 und der Drehzahl 99 hinterlegt sind, und aus welchem
15 der Gasbrennstoff-Lambda-Sollwert 85 ausgelesen wird.

Insgesamt zeigt sich für das konkret dargestellte Ausführungsbeispiel Folgendes: Die Drehzahl 99 der Brennkraftmaschine 1 wird über eine Variation der dem Brennraum 5 zugeführten Flüssigbrennstoff-Masse 95 geregelt. Es erfolgt somit eine Diesel-typische Drehzahlregelung,
20 die in Echtzeit, mithin sehr schnell, und sehr einfach sowie genau durchgeführt werden kann. Wird der Brennkraftmaschine 1 beispielsweise eine höhere Last abverlangt, tendiert die Drehzahl 99 zum Sinken. In diesem Fall wird durch das Drehzahl-Regelement 97 die Flüssigbrennstoff-Masse 95 erhöht, wodurch sich das Drehmoment 93 der Brennkraftmaschine 1 erhöht, sodass die Drehzahl 99 konstant gehalten werden kann. Die Erhöhung des Drehmoments
25 93 wird durch das Drehmoment-Bestimmungselement 91 registriert. Das höhere Drehmoment 93 führt dazu, dass aus dem Gasbrennstoff-Lambda-Sollwert-Kennfeld 101 ein veränderter Gasbrennstoff-Lambda-Sollwert 85 ausgelesen wird, vorzugsweise ein niedrigerer Gasbrennstoff-Lambda-Sollwert, was zur Folge hat, dass durch die Gasbrennstoff-Lambda-Sollwert-Steuerung 83 das Gasventil 29 zu einer höheren Dosierung von Gasbrennstoff angesteuert wird.
30 Somit erhöht sich in der Folge auch die dem Brennraum 5 zugeführte Gasbrennstoff-Menge 71. Dies führt seinerseits wieder zu einer Erhöhung des Drehmoments 93, was tendenziell zu einer Steigerung der Drehzahl 99 führt. Diese wird allerdings von dem Drehzahl-Regelement 97 erfasst, welches entsprechend die dem Brennraum 5 zugeführte Flüssigbrennstoff-Masse 95 reduzieren kann. Weist die Brennkraftmaschine 1 einen Lastabwurf auf, erfolgt entsprechend

zunächst eine Reduzierung der Flüssigbrennstoff-Masse 95 und nachfolgend auch eine Reduzierung der Gasbrennstoff-Menge 71.

5 Insgesamt kann demnach zum einen eine sehr schnelle, Diesel-typische Drehzahl- und/oder Leistungsregelung der Brennkraftmaschine 1 erfolgen, wobei zum anderen die Substitutionsrate über das Gasbrennstoff-Lambda-Sollwert-Kennfeld 101 für verschiedene Betriebs- oder Lastpunkte der Brennkraftmaschine 1 individuell eingestellt werden kann. Außerdem kann die Substitutionsrate unabhängig oder zumindest im Wesentlichen unabhängig von einer Qualität des verwendeten Gasbrennstoffs bei gegebenem Lastpunkt zumindest annähernd konstant,
10 vorzugsweise konstant gehalten werden.

Eine in der Figur 4 nicht dargestellte Transientüberwachungseinrichtung überwacht dabei, dass durch das Drehzahl-Regelelement 97 keine zu große Flüssigbrennstoff-Masse 95 in den Brennraum 5 eingebracht wird.

15 Es zeigt sich noch, dass die Flüssigbrennstoff-Masse 95 bei dem hier dargestellten, bevorzugten Ausführungsbeispiel nicht als Eingangsgröße in die Gasbrennstoff-Lambda-Wert-Steuerung 83 eingeht. Dessen bedarf es deswegen nicht, weil ein sich hieraus ergebender Effekt auf den Gesamtlambda-Wert der Brennkraftmaschine 1 und somit mittelbar auch auf den dem
20 Gasbrennstoff zugeordneten Gasbrennstoff-Lambda-Wert durch eine entsprechende Bedatung des Gasbrennstoff-Lambda-Sollwert-Kennfelds 101 abgebildet werden kann. Alternativ ist es aber auch möglich, dass die Flüssigbrennstoff-Masse 95 als zusätzlicher Eingangsparameter in die Gasbrennstoff-Lambda-Wert-Steuerung 83 eingeht.

25 Mit der in Figur 4 dargestellten Steuerung weist die Brennkraftmaschine 1 eine höhere Transientfähigkeit auf als ein füllungsgeregelter Gasmotor. Vielmehr ist eine dieseltypische Leistungs- und/oder Drehmomentregelung mit der damit verbundenen, hohen Transientfähigkeit möglich. Insbesondere ist es möglich, einen Dieselmotor zum Betrieb im Rahmen des hier dargestellten Verfahrens ohne weiteres nachzurüsten.

30 Bei einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens geht auch die Drehzahl 99 als Eingangsgröße in das Drehmoment-Bestimmungselement 91 ein. Dabei kann die Drehzahl insbesondere zur Bestimmung eines momentanen Motorwirkungsgrads für die Brennkraftmaschine 1 herangezogen werden.

Dadurch, dass im Rahmen des hier vorgeschlagenen Verfahrens die Gaseigenschaften 57, insbesondere der stöchiometrische Luftbedarf 43 des Gasbrennstoffs, auf sehr einfache und zugleich zuverlässige Weise bestimmt werden kann/können, ist es auch ohne vorangestellte Gasanalyse oder Zylinder-Innenmessung möglich, die Brennkraftmaschine 1 auch bei stark variierenden Gasqualitäten sicher zu betreiben. Das Verfahren wird dabei vorzugsweise fortlaufend und permanent im Betrieb der Brennkraftmaschine 1 durchgeführt, insbesondere weil sich die Gasqualität des Gasbrennstoffs auch während des Betriebs der Brennkraftmaschine 1 ändern kann. Zusätzlich ist es im Rahmen des Verfahrens möglich, eine Substitutionsrate für den Flüssigbrennstoff, insbesondere eine Diesel-Substitutionsrate, unabhängig von einer Qualität des verwendeten Gasbrennstoffs nahezu konstant zu halten. Außerdem ist es aufgrund der Kenntnis der Qualität des Gasbrennstoffs erstmals überhaupt möglich, die Leistung der Brennkraftmaschine 1 korrekt zu bestimmen. Dabei kann komplexe Messtechnik eingespart werden, was zu Kosteneinsparungen führt. Das Motor-Drehmoment und der Gasbrennstoff-Lambdawert – das heißt insbesondere der Lambdawert des Gasbrennstoffs vor dem Einlass der Mischung aus Gasbrennstoff und Verbrennungsluft in den Brennraum 5 – können ausreichend gut bestimmt werden, sodass ein stabiler Motorlauf der Brennkraftmaschine 1 trotz einer anfangs unbekannten Gaszusammensetzung erreicht werden kann.

ANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1), mit folgenden Schritten:
 - Betreiben der Brennkraftmaschine (1) mit einem Gasbrennstoff;
 - 5 – Erfassen eines Lambdawerts (49) im Abgas der Brennkraftmaschine (1);
 - Ermitteln wenigstens eines für eine Qualität des Gasbrennstoffs charakteristischen Kennwerts (41) aus dem erfassten Lambdawert (49), und
 - Ansteuern der Brennkraftmaschine (1) auf der Grundlage des wenigstens einen Kennwerts (41).
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brennkraftmaschine (1) in einem Zweistoffbetrieb mit dem Gasbrennstoff und einem Flüssigbrennstoff betrieben wird, wobei ein Verhältnis der einem Brennraum (5) zugeführten Massen an Gasbrennstoff zu Flüssigbrennstoff vorzugsweise von mindestens 1:4, vorzugsweise von mindestens 1:1, vorzugsweise mindestens 7:3, vorzugsweise mindestens 8:2, bevorzugt bis höchstens 9:1 beträgt.
- 15 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Kennwert (41) wenigstens ein Parameter ausgewählt aus einer Gruppe bestehend aus einem stöchiometrischen Luftbedarf (43), einer Dichte (51), einem Heizwert (53), einem Inertgasanteil (55), und einem H/C-Verhältnis (56) des Gasbrennstoffs ermittelt wird.
- 20 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kennwert (41) mittels eines Kennwertreglers (45) ermittelt wird, wobei durch den Kennwertregler (45) ein aus dem Kennwert (41) berechneter Lambda-Wert (47) mittels Variation des Kennwerts (41) auf den erfassten Lambdawert (49) geregelt wird.
- 25 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kennwert (41) berechnet wird, indem aus einem von einem ersten numerischen Wert für den Kennwert (41) abhängigen oder abgeleiteten Wert für einen Parameter der Brennkraftmaschine (1) und dem erfassten Lambdawert (49) ein zweiter numerischer Wert für den Kennwert (41) berechnet wird, wobei das Verfahren vorzugsweise iterativ durchgeführt wird.
- 30

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus dem Kennwert (41) wenigstens eine Korrekturgröße (63) zur Korrektur eines den erfassten Lambdawert (49) bestimmenden Messwerts (59) ermittelt wird, wobei der Messwert (59) anhand der Korrekturgröße (63) korrigiert wird, und wobei aus dem korrigierten Messwert (59) der erfasste Lambdawert (49) erhalten wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine Kennwert (41) zur Steuerung einer einzudosierenden Menge an Gasbrennstoff verwendet wird.

10

8. Brennkraftmaschine (1) mit

- einer ansteuerbaren Zuführeinrichtung (3) für einen Gasbrennstoff in wenigstens einen Brennraum (5) der Brennkraftmaschine (1),
- einem mit dem wenigstens einen Brennraum (5) verbundenen Abgasstrang (7), mit
- einer in dem Abgasstrang (7) angeordneten Lambdasonde (9), und mit
- einer Steuereinrichtung (13), wobei die Steuereinrichtung (13) eingerichtet ist zum Erfassen eines Lambdawerts (49) im Abgas der Brennkraftmaschine (1), zum Ermitteln wenigstens eines für eine Qualität des Gasbrennstoffs charakteristischen Kennwerts (41) aus dem erfassten Lambdawert (49), und zum Ansteuern der Brennkraftmaschine (1) auf der Grundlage des wenigstens einen Kennwerts (41), wobei die Steuereinrichtung (13) bevorzugt eingerichtet ist zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

15

20

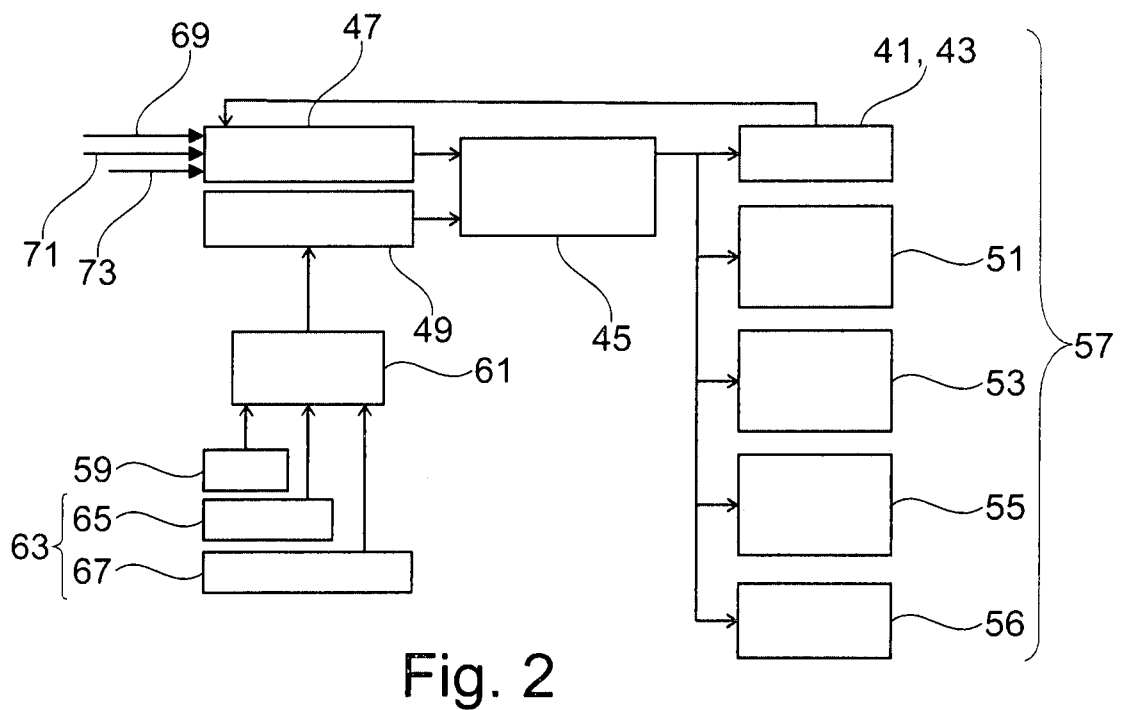
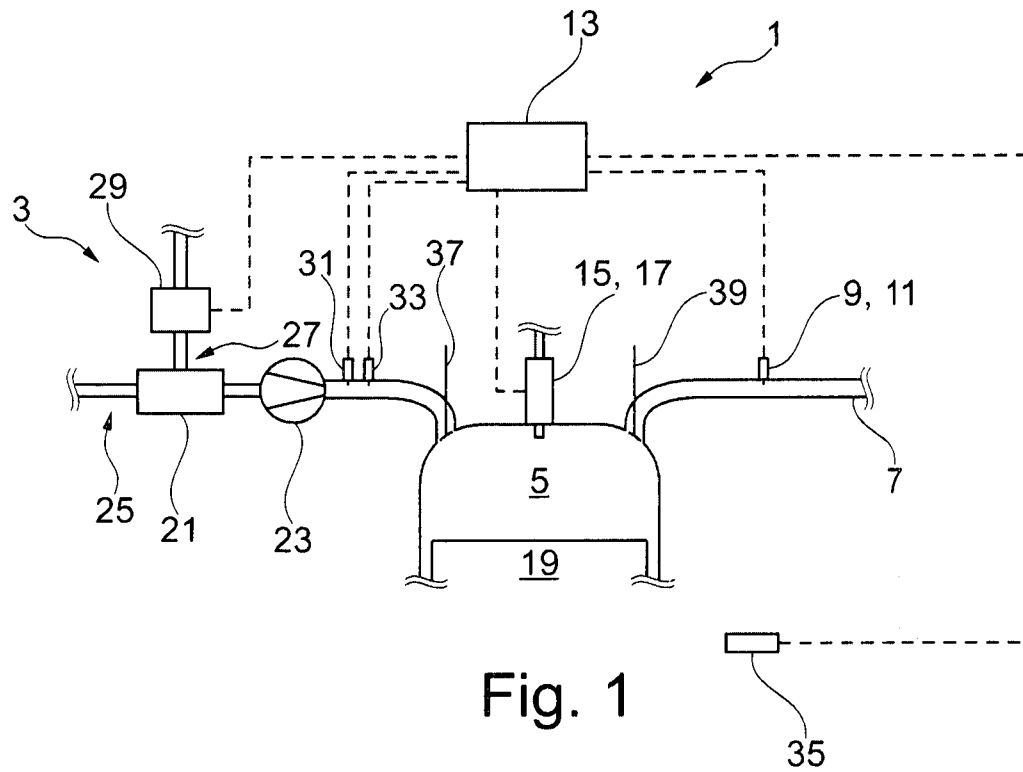
9. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lambdasonde als Breitband-Lamdasonde ausgebildet ist.

25

10. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 8 und 9, **gekennzeichnet durch** eine Dosiereinrichtung (15) zur Eindosierung von Flüssigbrennstoff in den Brennraum (5).

30

1/2



2/2

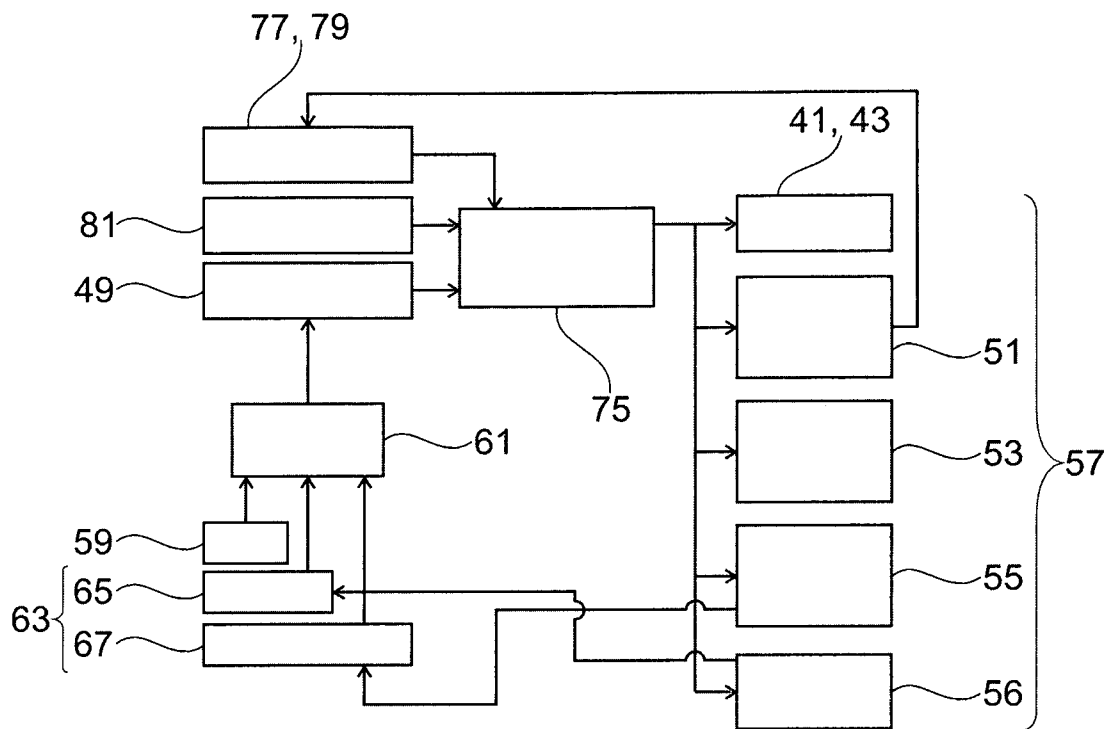


Fig. 3

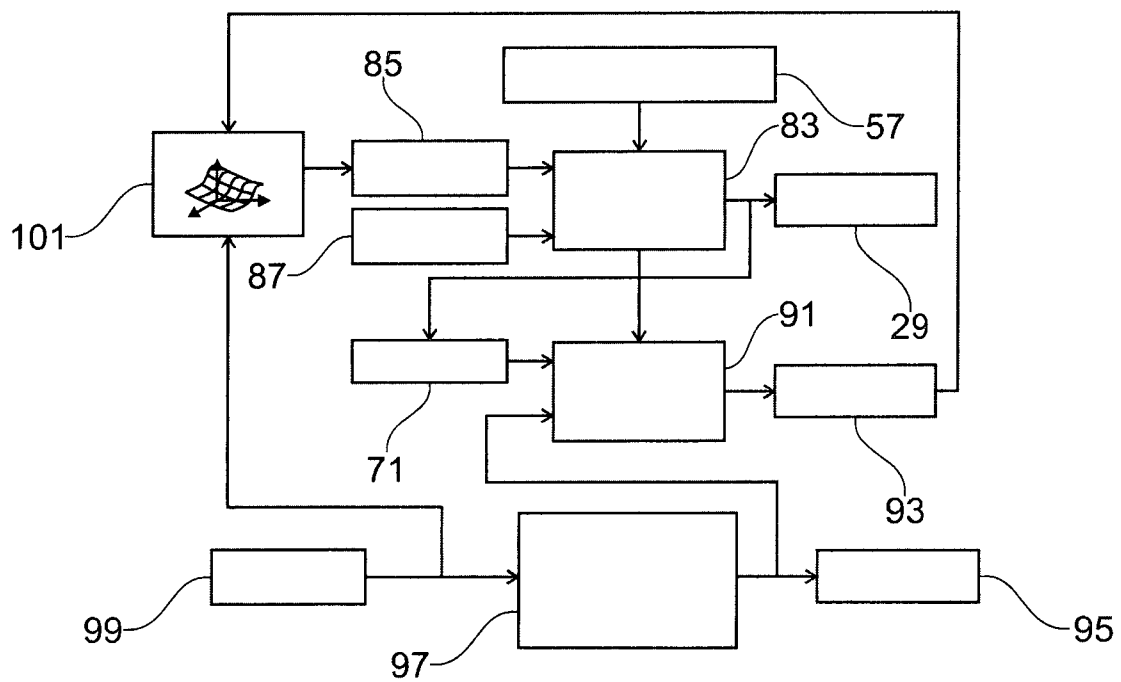


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/001682

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F02D41/14 F02D19/02 F02D19/06 F02D19/08 F02D41/00
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2013/076811 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]; TANIGUCHI SATOSHI [JP]; MASUBUCHI MASAHIKO []) 30 May 2013 (2013-05-30) paragraph [0001] - paragraph [0068] paragraph [0095]; claims 1,2,3,5; figures 1,2,3 & EP 2 784 291 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 1 October 2014 (2014-10-01) paragraph [0001] - paragraph [0068] paragraph [0095]; claims 1-3,5; figures 1-3 ----- -/--	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 December 2015

Date of mailing of the international search report

05/01/2016

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Rocabruna Vilardell

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2015/001682

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2013/000030 A1 (ORBITAL AUSTRALIA PTY LTD [AU]; UTLEY TYRON DEAN [AU]) 3 January 2013 (2013-01-03) abstract; claims 1,8,9,11,12,16,22,25,26,36,41-44 page 3 page 8 page 12 page 15 -----	1-3,6-10
X	WO 2014/083985 A1 (YANMAR CO LTD [JP]) 5 June 2014 (2014-06-05) page 1 - page 10; claims 1,10 page 15 -----	1,3,4, 7-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/001682

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2013076811 A1	30-05-2013	CN 103946517 A EP 2784291 A1 JP 5817842 B2 JP WO2013076811 A1 US 2014303876 A1 WO 2013076811 A1	23-07-2014 01-10-2014 18-11-2015 27-04-2015 09-10-2014 30-05-2013
WO 2013000030 A1	03-01-2013	AU 2012276289 A1 WO 2013000030 A1	09-01-2014 03-01-2013
WO 2014083985 A1	05-06-2014	CA 2893107 A1 EP 2910754 A1 JP 2014109191 A US 2015300282 A1 WO 2014083985 A1	05-06-2014 26-08-2015 12-06-2014 22-10-2015 05-06-2014

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	F02D41/14	F02D19/02
	F02D19/06	F02D19/08
	F02D41/00	
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
F02D		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2013/076811 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]; TANIGUCHI SATOSHI [JP]; MASUBUCHI MASAHIKO []) 30. Mai 2013 (2013-05-30) Absatz [0001] - Absatz [0068] Absatz [0095]; Ansprüche 1,2,3,5; Abbildungen 1,2,3 & EP 2 784 291 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 1. Oktober 2014 (2014-10-01) Absatz [0001] - Absatz [0068] Absatz [0095]; Ansprüche 1-3,5; Abbildungen 1-3 ----- -/-	1-10
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
18. Dezember 2015		05/01/2016
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Rocabruna Vilardell

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2013/000030 A1 (ORBITAL AUSTRALIA PTY LTD [AU]; UTLEY TYRON DEAN [AU]) 3. Januar 2013 (2013-01-03) Zusammenfassung; Ansprüche 1,8,9,11,12,16,22,25,26,36,41-44 Seite 3 Seite 8 Seite 12 Seite 15	1-3,6-10
X	----- WO 2014/083985 A1 (YANMAR CO LTD [JP]) 5. Juni 2014 (2014-06-05) Seite 1 - Seite 10; Ansprüche 1,10 Seite 15 -----	1,3,4, 7-9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/001682

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2013076811 A1	30-05-2013	CN 103946517 A	23-07-2014
		EP 2784291 A1	01-10-2014
		JP 5817842 B2	18-11-2015
		JP WO2013076811 A1	27-04-2015
		US 2014303876 A1	09-10-2014
		WO 2013076811 A1	30-05-2013

WO 2013000030 A1	03-01-2013	AU 2012276289 A1	09-01-2014
		WO 2013000030 A1	03-01-2013

WO 2014083985 A1	05-06-2014	CA 2893107 A1	05-06-2014
		EP 2910754 A1	26-08-2015
		JP 2014109191 A	12-06-2014
		US 2015300282 A1	22-10-2015
		WO 2014083985 A1	05-06-2014
