

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 1528/2011
(22) Anmeldetag: 19.10.2011
(43) Veröffentlicht am: 15.11.2012

(51) Int. Cl. : **F02B 43/12** (2006.01)
F02M 25/12 (2006.01)
F02D 19/02 (2006.01)
F02B 19/12 (2006.01)

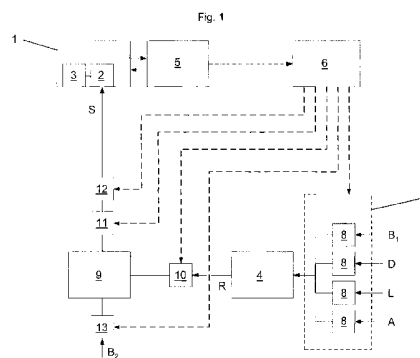
(56) Entgegenhaltungen:
WO 2011127494 A1
DE 102010029972 A1

(73) Patentanmelder:
GE JENBACHER GMBH & CO OHG
6200 JENBACH (AT)

(72) Erfinder:
Gruber Friedrich
Hippach 44 (AT)
Wall Günther
Bad Häring (AT)

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN WENIGSTENS EINER VORKAMMERGEZÜNDETEN BRENNKRAFTMASCHINE**

(57) Verfahren zum Betreiben wenigstens einer vor-
kammergezündeten Brennkraftmaschine (1), insbe-
sondere eines stationären Gas-Otto-Motors, mit
einer Vorkammer (2) und einem der Vorkammer (2)
zugeordneten Hauptbrennraum (3), wobei der Vor-
kammer (2) ein Gasgemisch als Spülgas (S) zuge-
führt wird, wobei dem Spülgas (S) ein in einem
Kraftstoffreformer (4) erzeugtes Synthesegas (R)
und ein Treibstoff (B_2) aus einer Treibstoffquelle
zugeführt werden und wobei dem Kraftstoffreformer
(4) für den Reformierprozess ein Brennstoff (B_1) und
wenigstens ein weiterer Stoffstrom (D, L, A) zuge-
führt werden, wobei wenigstens ein Betriebspara-
meter der wenigstens einen Brennkraftmaschine
überwacht wird, wobei abhängig von einer Änderung
des wenigstens einen Betriebsparameters die che-
mische Zusammensetzung des Spülgases (S) durch
eine Änderung des Massenstroms des wenigstens
einen weiteren Stoffstroms (D, L, A) verändert wird.



Zusammenfassung:

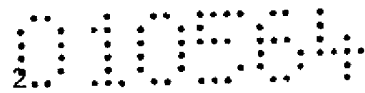
Verfahren zum Betreiben wenigstens einer vorkammergezündeten Brennkraftmaschine (1), insbesondere eines stationären Gas-Otto-Motors, mit einer Vorkammer (2) und einem der Vorkammer (2) zugeordneten Hauptbrennraum (3), wobei der Vorkammer (2) ein Gasgemisch als Spülgas (S) zugeführt wird, wobei dem Spülgas (S) ein in einem Kraftstoffreformer (4) erzeugtes Synthesegas (R) und ein Treibstoff (B_2) aus einer Treibstoffquelle zugeführt werden und wobei dem Kraftstoffreformer (4) für den Reformierprozess ein Brennstoff (B_1) und wenigstens ein weiterer Stoffstrom (D, L, A) zugeführt werden, wobei wenigstens ein Betriebsparameter der wenigstens einen Brennkraftmaschine überwacht wird, wobei abhängig von einer Änderung des wenigstens einen Betriebsparameters die chemische Zusammensetzung des Spülgases (S) durch eine Änderung des Massenstroms des wenigstens einen weiteren Stoffstroms (D, L, A) verändert wird.

(Fig. 1)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben wenigstens einer vorkammergezündeten Brennkraftmaschine, insbesondere eines stationären Gas-Otto-Motors, mit einer Vorkammer und einem der Vorkammer zugeordneten Hauptbrennraum, wobei der Vorkammer ein Gasgemisch als Spülgas zugeführt wird, wobei dem Spülgas ein in einem Kraftstoffreformer erzeugtes Synthesegas und ein Treibstoff aus einer Treibstoffquelle zugeführt werden und wobei dem Kraftstoffreformer für den Reformierprozess ein Brennstoff und wenigstens ein weiterer Stoffstrom zugeführt werden.

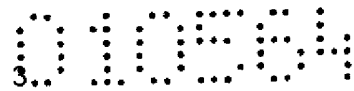
Bei ottomotorisch betriebenen Brennkraftmaschinen erfolgt die Zündung eines Treibstoff-Luft-Gemischs im Brennraum durch Zündeinrichtungen, wobei die Gemischentflammung meist durch einen Funkenüberschlag an den Elektroden einer Zündkerze eingeleitet wird. Alternativ ist es auch bekannt, als Zündeinrichtung eine Laserzündkerze einzusetzen, bei der die benötigte Zündenergie in Form von Laserlicht in den Brennraum eingebracht wird. Insbesondere bei Gasmotoren, bei denen ein Treibgas-Luft-Gemisch entzündet wird, setzt man bei größeren Brennraumvolumina das Magerkonzept ein. Dies bedeutet, dass ein relativ großer Luftüberschuss vorhanden ist, wodurch bei maximaler Leistungsdichte und gleichzeitig hohem Wirkungsgrad des Motors die Schadstoffemission sowie die thermische Belastung der Bauteile möglichst gering gehalten wird. Die Zündung und Verbrennung sehr magerer Treibstoff-Luft-Gemische stellt dabei eine erhebliche Herausforderung für die Entwicklung bzw. den Betrieb moderner Hochleistungsgasmotoren dar.

Ab einer gewissen Baugröße der Gasmotoren (meist etwa oberhalb von sechs Litern Hubraum) ist es erforderlich, Zündverstärker einzusetzen, um die entsprechend großen Flammwege in den Brennräumen der Zylinder in möglichst kurzer Zeit zu durchlaufen. Als solche Zündverstärker dienen üblicherweise Vorkammern, wobei das am Ende des Kompressionshubes hoch verdichtete Treibstoff-Luft-Gemisch in einem vom Hauptbrennraum des Zylinders abgeteilten relativ kleinen Nebenraum gezündet wird. Dabei wird ein Hauptbrennraum vom Arbeitskolben, der



Zylinderlaufbuchse und dem Zylinderkopfboden begrenzt, wobei der Nebenraum (die Vorkammer) durch eine oder mehrere Überströmbohrungen mit dem Hauptbrennraum verbunden ist. Häufig werden solche Vorkammern während der Ladungswechselphase mit Treibgas gespült bzw. gefüllt, um das Treibstoff-Luft-Gemisch anzufetten und damit die Verflammungs- und Verbrennungseigenschaften zu verbessern. Dazu wird eine kleine Treibgasmenge von der Treibgaszuführung zum Hauptbrennraum abgezweigt und über eine geeignete, mit einem Rückschlagventil versehene Zufuhreinrichtung in die Vorkammer eingeleitet. Diese Treibgasmenge spült während des Ladungswechsels die Vorkammer und wird deshalb oft als Spülgas bezeichnet.

Während der Kompressionsphase strömt das sehr magere Treibstoff-Luft-Gemisch des Hauptbrennraumes durch die Überströmbohrungen in die Vorkammer und vermischt sich dort mit dem Spülgas. Das Verhältnis von Treibstoff zu Luft im Gemisch wird in Form der Luftüberschusszahl λ angegeben. Eine Luftüberschusszahl von $\lambda = 1$ bedeutet dabei, dass die im Gemisch vorhandene Luftmenge genau jener Menge entspricht, die erforderlich ist, um eine vollständige Verbrennung der Treibstoffmenge zu ermöglichen. Die Verbrennung erfolgt in einem solchen Fall stöchiometrisch. Große Gasmotoren werden bei Volllast üblicherweise mager bei einem λ von ca. 1,9 bis 2,0 betrieben, das heißt die Luftmenge im Gemisch entspricht etwa der doppelten stöchiometrischen Luftmenge. Durch die Spülung der Vorkammer mit Treibgas ergibt sich nach Vermischung mit dem Treibgas-Luft-Gemisch aus dem Hauptbrennraum ein mittleres λ in der Vorkammer von ca. 0,8 bis 0,9. Damit ergeben sich optimale Entflammungsbedingungen und aufgrund der Energiedichte intensive, in den Hauptbrennraum austretende Zündfackeln, die zu einem raschen Durchbrennen des Treibstoff-Luft-Gemischs im Hauptbrennraum führen. Bei solchen λ -Werten erfolgt die Verbrennung allerdings auf maximalem Temperaturniveau, sodass auch die Wandtemperaturen im Vorkammerbereich entsprechend hoch sind. Daraus resultieren einerseits eine entsprechend hohe thermische Belastung der Vorkammer und der darin angeordneten Bauteile (z.B. Zündkerze, Ventile) und andererseits unerwünscht hohe Stickoxidemissionen.



Das Anreichern des Spülgases mit reaktiven Gasen erlaubt es, das Spülgas bei gleicher Zündwilligkeit abzumagern. Abmagern des Vorkammergases führt zu günstigeren Emissionen. Aus dem Stand der Technik ist bekannt, das einer Vorkammer zuzuführende Spülgas mit entsprechenden Gasen anzureichern, um die Zündwilligkeit des Spülgases bei Magerbetrieb der Brennkraftmaschine zu erhöhen. So zeigt die US 6,739,289 B2 eine Methode zum Anreichern eines Vorkammer-Spülgases mit Wasserstoff. Dabei wird der Treibstoff für die Vorkammer durch einen Reformer geleitet, um den Treibstoff mit Wasserstoff anzureichern. Als Reformer können bekannte thermochemische Reaktoren wie beispielsweise Dampfreformer eingesetzt werden.

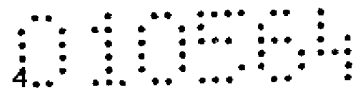
Ebenfalls bekannt ist eine Vermischung des Synthesegasstromes mit einem zweiten Gasstrom (Gemisch oder Gas) zur Einstellung eines bestimmten Verbrennungsluftverhältnisses λ im Spülgas. Die US 6,739,289 B2 schlägt eine Vermischung des Synthesegasstromes mit einem zweiten Gasstrom (Gemisch oder Gas) zur Einstellung eines bestimmten λ im Spülgas vor. Nachteilig an dieser Lösung ist, dass der Reformer mit konstantem Durchsatz betrieben wird und lediglich das Luftverhältnis λ im Spülgas eingestellt wird.

Da der Reformer einen Leistungsverbraucher an chemischer Energie darstellt, ist es wünschenswert, dass nur so viel umgesetzt wird wie aktuell zur Beeinflussung des Verbrennungsverhaltens und der Emissionen erforderlich ist.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die vorbeschriebenen Nachteile zu vermeiden und ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Verfahren zum Betreiben einer vorkammergezündeten Brennkraftmaschine anzugeben.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Gemäß der Erfindung ist also vorgesehen, dass wenigstens ein Betriebsparameter der wenigstens einen Brennkraftmaschine überwacht wird, wobei abhängig von einer



Änderung des wenigstens einen Betriebsparameters die chemische Zusammensetzung des Spülgases durch eine Änderung des Massenstroms des wenigstens einen weiteren Stoffstroms verändert wird.

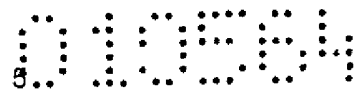
Dadurch kann insbesondere erreicht werden, dass eine für einen jeweiligen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine optimale chemische Zusammensetzung des Spülgases bereitgestellt werden kann, um ein optimales Verbrennungsverhalten und geringe Emissionen zu erzielen.

Es kann damit auch ein sicherer und wirtschaftlicher Betrieb einer Motoranlage mit Reformiereinrichtung erfolgen, bei der durch eine Regelung der Stoffströme für den Reformer in Abhängigkeit von aktuellen Motorparametern nur so viel Synthesegas erzeugt wird, wie jeweils aktuell zur Beeinflussung des Verbrennungsverhaltens und der Emissionen erforderlich ist.

Vorzugsweise kann dem Kraftstoffreformer wenigstens einer der folgenden weiteren Stoffströme zugeführt werden: Wasser und/oder Wasserdampf und/oder Luft und/oder ein Treibstoff-Luft-Gemisch und/oder ein Abgas der wenigstens einen Brennkraftmaschine.

In einer bevorzugten Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass ein erster Betriebsparameter basierend auf einem Variationskoeffizienten des indizierten Nutzmitteldrucks im Hauptbrennraum überwacht wird.

Der indizierte Nutzmitteldruck in einem Hauptbrennraum ist der Mittelwert des gemessenen Zylinderinnendruckes über einen Verbrennungszyklus. Zur Ermittlung des Variationskoeffizienten kann mittels geeigneter Einrichtungen (z.B. Zylinderdrucksensor im Hauptbrennraum) eine Messreihe vom jeweiligen indizierten Nutzmitteldruck im Hauptbrennraum über mehrere Verbrennungszyklen erfasst werden, beispielsweise über 50 Verbrennungszyklen. Aus den Messwerten des indizierten Nutzmitteldruck im Hauptbrennraum einer Messreihe kann anschließend der arithmetische Mittelwert und die empirische Standardabweichung ermittelt werden. Der Quotient aus Standardabweichung und Mittelwert ergibt dann den



Variationskoeffizienten des indizierten Nutzmitteldrucks im der Vorkammer zugeordneten Hauptbrennraum.

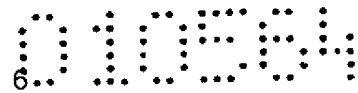
Als erster Betriebsparameter kann dabei der Variationskoeffizient eines Hauptbrennraums oder der arithmetische Mittelwert der Variationskoeffizienten aller Hauptbrennräume der Brennkraftmaschine überwacht werden.

Als erster Betriebsparameter kann auch der Variationskoeffizient einer Messreihe von Messwerten des indizierten Nutzmitteldrucks über mehrere oder alle Hauptbrennräume der Brennkraftmaschine überwacht werden.

Der Variationskoeffizient, der üblicherweise in Prozent angegeben wird, ist ein Maß für die Stabilität der Verbrennung und ist abhängig von Motoreinstellungen, z.B. der NO_x-Emissionen. Übliche Werte für den Variationskoeffizienten bei Erdgasbetrieb sind beispielsweise 1,2% bis 1,4% bei 500 mg/Nm³ (Milligramm pro Normkubikmeter) NO_x-Emissionen und 2,5% bis 2,6% bei 250 mg/Nm³ NO_x-Emissionen. Der Variationskoeffizient hängt damit stark vom Betriebspunkt der Brennkraftmaschine ab. Je geringer die NO_x-Emissionen, desto höher der Variationskoeffizient.

Der Variationskoeffizient kann als Maß für die Verbrennungsstabilität herangezogen werden. Je niedriger der Variationskoeffizient, desto stabiler und gleichmäßiger ist die Verbrennung und desto höher ist der Wirkungsgrad der Brennkraftmaschine. So kann beispielsweise bei einem Variationskoeffizienten von 1% die Verbrennung als stabil betrachtet werden, bei einem Variationskoeffizienten von 3% bis 4% ist der Motor nahe der Laufgrenze, läuft also instabil.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass die chemische Zusammensetzung des Spülgases verändert wird, falls der erste Betriebsparameter einen vorgebbaren ersten Grenzwert überschreitet. Mit anderen Worten kann also ein erster Grenzwert festgelegt werden, bei welchem ein Eingriff zur Verbesserung der Verbrennung erfolgen kann bzw. sollte.



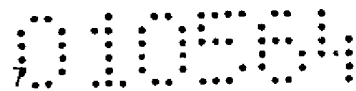
Der erste Grenzwert für den Variationskoeffizienten kann beispielsweise mit 2,5%, vorzugsweise mit 2,75%, angesetzt werden. Der erste Grenzwert kann generell auch motorspezifisch festgelegt werden.

Es kann vorgesehen sein, dass bei Überschreiten des ersten Grenzwerts der Massenstrom des Wasserdampfs und/oder der Massenstrom der Luft und/oder der Massenstrom des Abgases erhöht wird bzw. werden, vorzugsweise proportional zur Änderung des ersten Betriebsparameters. Insbesondere bei Betrieb der Brennkraftmaschine mit Abgasrückführung kann es sinnvoll sein, in diesem Fall den Massenstrom des Abgases zu erhöhen. Bei Betrieb ohne Abgasrückführung kann es ausreichend sein, den Massenstrom des Wasserdampfs und/oder den Massenstrom der Luft zu erhöhen.

Dadurch kann insbesondere das Verhältnis der Massenströme der Reformereingangsstoffströme Wasserdampf und Brennstoff verändert werden. Unterhalb des ersten Grenzwerts kann dieses Verhältnis jedoch unverändert auf einem auslegungsspezifischen Normalwert bleiben. Beispielsweise ist die Zusammensetzung des Spülgases beim auslegungsspezifischen Normalwert derart, dass es einen Wasserstoff-Anteil von 10 – 35 Vol.-% und einen Methananteil von 10 – 35 Vol.-% aufweist.

Insgesamt kann mit der Maßnahme der Erhöhung der Massenströme der angegebenen Stoffströme mehr Wasserstoff im Spülgas erzielt werden. Dadurch lassen sich eine höhere Verbrennungsgeschwindigkeit und damit eine höhere Stabilität in der Verbrennung erzielen.

Durch eine Änderung der jeweiligen Massenströme der Stoffströme wird auch der Massenstrom des Spülgases entsprechend verändert, d.h. eine Erhöhung eines Massenstroms eines Stoffstroms führt auch zu einer Erhöhung des Massenstroms des Spülgases und eine Verringerung eines Massenstroms eines Stoffstroms führt zu einer Verringerung des Massenstroms des Spülgases.



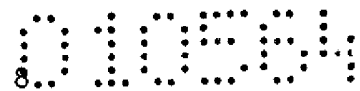
In einer bevorzugten Weiterbildung kann auch vorgesehen sein, dass der Massenstrom des Treibstoffs verändert wird. Dadurch kann ebenfalls die chemische Zusammensetzung des Spülgases verändert werden. Es kann vorgesehen sein, dass bei Überschreiten des ersten Grenzwerts der Massenstrom des Treibstoffs verringert wird. In Verbindung mit der vorgenannten Änderung der Massenströme der Reformereingangsstoffströme kann damit beispielsweise der Massenstrom des Spülgases konstant gehalten und dadurch der Wasserstoff-Anteil im Spülgas erhöht werden.

Der erste Grenzwert kann von einer Leistung und/oder einem Ladedruck der wenigstens einen Brennkraftmaschine und/oder von einer Ladelufttemperatur bzw. der Temperatur eines Treibstoff-Luft-Gemischs vor den Einlassventilen in den Hauptbrennraum der wenigstens einen Brennkraftmaschine abhängig sein.

Als besonders vorteilhaft hat es sich dabei herausgestellt, wenn der erste Grenzwert mit zunehmender Last und/oder zunehmendem Ladedruck der wenigstens einen Brennkraftmaschine verändert, vorzugsweise erhöht, wird.

Bei einer weiteren Ausführungsvariante kann vorgesehen sein, dass beim Hochfahren und/oder im Leerlauf und/oder bei geringer Teillast der wenigstens einen Brennkraftmaschine aus Gründen der Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems der Anteil an Synthesegas im Spülgas so gering wie möglich gehalten wird. Der Reformerbetrieb kann dabei auf ein sinnvolles Minimum, beispielsweise auf 30% der Reformereingangsstoffströme in Bezug auf den auslegungsspezifischen Normalwert, reduziert werden. Beim Hochfahren zur Volllast kann der Anteil an Synthesegas im Spülgas bis zur Sollzusammensetzung beim auslegungsspezifischen Normalwert angehoben werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass ein zweiter Betriebsparameter basierend auf einer Zündkerzentemperatur einer Zündkerze in der Vorkammer überwacht wird.



Hierbei ist es ein Ziel, unter gegebenen Rahmenbedingungen (Betriebspunkt der Brennkraftmaschine betreffend NO_x-Emission und Last) die Temperatur an der Zündkerze in einem wirtschaftlich optimalen Bereich zu halten. Die Temperatur an der Zündkerze soll dabei möglichst niedrig sein bei möglichst wenig benötigtem Synthesegas.

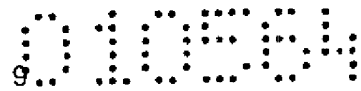
Als zweiter Betriebsparameter kann dabei die Elektrodentemperatur der Zündkerze überwacht werden. Eine Erfassung der Elektrodentemperatur kann in bekannter Art und Weise z.B. durch ein Thermoelement auf der Masseelektrode der Zündkerze erfolgen. Übliche Werte der Elektrodentemperatur bei vorkammergezündeten Brennkraftmaschinen mit Erdgasbetrieb sind 830°C bis 850°C. Durch eine entsprechende chemische Zusammensetzung des Spülgases lässt sich die Elektrodentemperatur deutlich absenken, beispielsweise um 100°C. Eine geringere Elektrodentemperatur führt zu einer geringeren Bauteilbelastung und damit zu einer erhöhten Lebensdauer, insbesondere zu einer erhöhten Zündkerzenstandzeit.

Es kann daher vorgesehen sein, dass die chemische Zusammensetzung des Spülgases verändert wird, falls der zweite Betriebsparameter einen vorgebbaren zweiten Grenzwert überschreitet. Insbesondere kann bzw. können bei Überschreiten des zweiten Grenzwerts der Massenstrom des Wasserdampfs und/oder der Massenstrom der Luft und/oder der Massenstrom des Abgases erhöht werden.

Insbesondere bei Betrieb der Brennkraftmaschine mit Abgasrückführung kann es sinnvoll sein, in diesem Fall den Massenstrom des Abgases zu erhöhen. Bei Betrieb ohne Abgasrückführung kann es ausreichend sein, den Massenstrom des Wasserdampfs und/oder den Massenstrom der Luft zu erhöhen.

Zur Verringerung der Elektrodentemperatur kann auch vorgesehen sein, dass der Massenstrom des Brennstoffs und/oder der Massenstrom des Treibstoffs verringert wird bzw. werden.

Der zweite Grenzwert kann beispielsweise bei 750°C angesetzt werden. Insgesamt zielt die Anpassung der chemischen Zusammensetzung des Spülgases in diesem



Fall darauf ab, den Heizwert des Spülgases leicht zu senken bzw. den Wasserstoff-Anteil zu erhöhen.

Es kann auch sinnvoll sein, den Zündspannungsbedarf einer Zündkerze in der Vorkammer zu überwachen, da durch diesen Wert eine Aussage über den Zündkerzenverschleiß getroffen werden kann.

Daher kann vorzugsweise vorgesehen sein, dass ein dritter Betriebsparameter basierend auf einem Zündspannungsbedarf einer Zündkerze in der Vorkammer überwacht wird, wobei die chemische Zusammensetzung des Spülgases verändert wird, falls der dritte Betriebsparameter einen vorgebbaren dritten Grenzwert überschreitet. Insbesondere kann bei Überschreiten des dritten Grenzwerts der Massenstrom des Treibstoffs erhöht werden.

Der Zündspannungsbedarf, der beispielsweise von einem Motormanagementsystem erfasst werden kann, ist von der Zusammensetzung des Spülgases abhängig. Durch eine Erhöhung des Massenstroms des Treibstoffs wird der CH_4 -Anteil im Spülgas erhöht, wodurch sich die Entzündbarkeit des Spülgases erhöhen lässt. Ein fortschreitender Zündkerzenverschleiß kann über einen erhöhten Zündspannungsbedarf erfasst und die chemische Zusammensetzung des Spülgases dementsprechend angepasst werden, um trotz größerer Funkenstrecke eine zuverlässige Entzündung des Spülgases hervorrufen zu können.

Das vorgeschlagene Verfahren kann auch bei einer Mehrmotorenanlage zum Einsatz kommen. Dabei können wenigstens zwei Brennkraftmaschinen vorgesehen sein, wobei Synthesegas des Kraftstoffreformers, gegebenenfalls jeweils unter Beimischung von Treibstoff, als Spülgas den Vorkammern der wenigstens zwei Brennkraftmaschinen zugeführt wird. Vorzugsweise kann dabei vorgesehen sein, dass ein vierter Betriebsparameter basierend auf der Last und/oder dem Ladedruck wenigstens einer der wenigstens zwei Brennkraftmaschinen überwacht wird, wobei abhängig von einer Änderung des vierten Betriebsparameters der Massenstrom des Spülgases verändert wird.

Der Massenstrom des Spülgases bzw. die Spülgasmenge hat üblicherweise eine Grundeinstellung in Bezug auf die Massen- bzw. Volumenströme der Eingangsstoffströme für den Reformer und in Bezug auf den Treibstoff, der gemeinsam mit dem Synthesegas aus dem Reformer das Spülgas bilden kann. Die Grundeinstellung wird dabei meist so gesetzt, dass die Spülgasmenge ca. dem 1,5-fachen Vorkammergasbedarf (Volumen aller Vorkammern in Summe gemäß Verbrennungszyklus) entspricht.

Im Betrieb kann nun die Spülgasmenge so eingestellt werden, dass sie abhängig von einer Änderung der Last wenigstens einer der wenigstens zwei Brennkraftmaschinen (als vierter Betriebsparameter) verändert wird. Dabei kann auch vorgesehen sein, dass die Spülgasmenge abhängig von einer Änderung der Summenlast aller Brennkraftmaschinen einer Mehrmotorenanlage (als vierter Betriebsparameter) verändert wird. Die Spülgasmenge kann dabei beispielsweise über entsprechende Regelarmaturen für Massen- bzw. Volumenströme für die Eingangsstoffströme für den Reformer und den Treibstoff entsprechend verändert werden.

Die Spülgasmenge kann auch so eingestellt werden, dass der Druck des Spülgases nach einem Spülgasverdichter, durch den das Spülgas vor dem Einbringen in die Vorkammern verdichtet werden kann, immer um einen bestimmten Betrag höher ist als der Ladedruck des Treibstoff-Luft-Gemischs für die Hauptbrennräume der Brennkraftmaschine. Dadurch können über die Abhängigkeit vom Ladedruck auch Änderungen in der Motorlast mitberücksichtigt werden. Eine geeignete Differenz zwischen Ladedruck und Spülgasdruck beträgt dabei beispielsweise 50 mbar, d.h. der Druck des Spülgases nach einem Spülgasverdichter kann dabei dem Ladedruck nachgeführt werden, sodass er immer um 50 mbar höher ist als der Ladedruck. Eine rasche Anpassung des Spülgasdrucks kann beispielsweise durch eine entsprechend geregelte Bypass-Leitung erfolgen. Die Bypass-Leitung verbindet dabei eine Spülgasleitung, durch welche das Spülgas in die Vorkammern eingebracht wird, mit einer Treibstoffleitung, durch welche z.B. das Treibstoff-Luft-Gemisch in die Hauptbrennräume eingebracht wird. Prinzipiell kann auch vorgesehen sein, dass eine Änderung der Spülgasmenge abhängig von einer Änderung des Ladedrucks erfolgt, vorzugsweise proportional zu einer Änderung des Ladedrucks. Hierdurch

können Schwankungen des Ladedrucks und insbesondere bei einer Mehrmotorenanlage mit einem gemeinsamen Reformer die Anforderungen einzelner Brennkraftmaschinen ausgeglichen werden.

Der Betrieb einer Mehrmotorenanlage kann auch derart erfolgen, dass die Reformereingangsstoffströme abhängig von der Summenlast aller Brennkraftmaschinen einer Mehrmotorenanlage verändert werden und eine Feinregelung der Spülgaszusammensetzung und –menge in Bezug auf den jeweiligen Ladedruck der Brennkraftmaschinen individuell für jede Brennkraftmaschine erfolgt.

Generell eignen sich folgende Betriebsparameter für eine Überwachung, um in Bezug auf deren Änderung eine optimale Spülgaszusammensetzung und Spülgasmenge einzustellen und damit einen optimalen Betriebszustand der Brennkraftmaschine bzw. Mehrmotorenanlage zu erzielen: gesamte abgegebene elektrische Leistung aller Brennkraftmaschinen einer Mehrmotorenanlage, Ladedrücke der einzelnen Brennkraftmaschinen, Variationskoeffizienten des indizierten Nutzmitteldrucks der Hauptbrennräume der einzelnen Brennkraftmaschinen, Temperaturen an den jeweiligen Masseelektroden der Zündkerzen der einzelnen Brennkraftmaschinen, Zündspannungsbedarf der jeweiligen Zündkerzen der einzelnen Brennkraftmaschinen.

Abhängig von einer Änderung wenigstens eines der obigen Betriebsparameter der Brennkraftmaschine kann auch wenigstens einer der folgenden Parameter des Kraftstoffreformers verändert werden: Temperatur und/oder Druck des wenigstens einen Stoffstroms am Eingang des Kraftstoffreformers, Temperatur im Kraftstoffreformer, Temperatur am Ausgang des Kraftstoffreformers, CO-Konzentration im Synthesegas, CO₂-Konzentration im Synthesegas, Massenstrom des Brennstoffs, Massenstrom des Abgases.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden anhand der nachfolgenden Figurenbeschreibung erläutert. Dabei zeigt:

Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild einer Brennkraftmaschine mit Reformer und Spülgasregler,

Fig. 2 ein schematisches Blockschaltbild einer Mehrmotorenanlage mit einem Reformer und einem Spülgasregler und

Fig. 3 Messwerte des indizierten Nutzmitteldrucks in einem Hauptbrennraum einer Brennkraftmaschine.

Fig. 1 zeigt in einer schematischen Darstellung eine Brennkraftmaschine 1 mit einer Vorkammer 2 und einem der Vorkammer 2 zugeordneten Hauptbrennraum 3. Der Vorkammer 2 wird ein Spülgas S zugeführt. Dieses Spülgas S umfasst ein Synthesegas R und einen Treibstoff B_2 . Das Synthesegas R und der Treibstoff B_2 werden in einem Spülgasmischer 9 vermischt und das dadurch entstandene Gasgemisch als Spülgas S der Vorkammer 2 bzw. den Vorkammern 2 der Brennkraftmaschine 1 zugeführt.

Das Synthesegas R wird dabei in einem Kraftstoffreformer 4 erzeugt. Für den an sich bekannten Reformierprozess, in dem ein kohlenwasserstoffhaltiger Brennstoff B_1 zu einem H_2 - und CO -haltigen Synthesegas R reagiert, werden dem Kraftstoffreformer 4 mehrere Stoffströme B_1 , D, L, A zugeführt. Die Zuführung dieser Stoffströme B_1 , D, L, A erfolgt in diesem Beispiel über einen Stoffstrommischer 7, der die ihm zugeführten Stoffströme B_1 , D, L, A zu einem Stoffstromgemisch vermischt und dem Kraftstoffreformer 4 zuführt.

Der Brennstoff B_1 für den Kraftstoffreformer 4, bei dem es sich um einen autothermen chemischen Reaktor handeln kann, kann dabei z.B. Erdgas aus einer Erdgasversorgung (z.B. Erdgaspipeline) sein. Der Treibstoff B_2 , der im Spülgasmischer 9 dem Spülgas S zugeführt wird, kann aus derselben Brennstoffquelle stammen wie der Brennstoff B_1 oder auch aus einer davon gesonderten Treibstoffquelle.

Zum Überwachen der Brennkraftmaschine 1, die beispielsweise ein stationärer Gas-Otto-Motor sein kann, ist in diesem Beispiel ein Motormanagementsystem 5 vorgesehen. Dieses Motormanagementsystem 5 kann Betriebsdaten der

Brennkraftmaschine 1 erfassen und entsprechend auswerten. Betriebsdaten bzw. Betriebsparameter der Brennkraftmaschine 1, die vom Motormanagementsystem 5 überwacht werden können, sind beispielsweise: der Variationskoeffizient des indizierten Nutzmitteldrucks im Hauptbrennraum 3, die Elektrodotemperatur einer Zündkerze in der Vorkammer 2, der Zündspannungsbedarf einer Zündkerze in der Vorkammer 2, die Leistung der Brennkraftmaschine 1, der Ladedruck der Ladeluft bzw. des Treibstoff-Luft-Gemischs für den Hauptbrennraum 3, der Ladedruck des Spülgases S für die Vorkammer 2 oder die Temperatur der Ladeluft bzw. des Treibstoff-Luft-Gemischs für den Hauptbrennraum 3.

Abhängig von einer Änderung wenigstens eines überwachten Betriebsparameters der Brennkraftmaschine 1 kann eine Beeinflussung des Spülgases S erfolgen. Dafür ist ein Spülgasregler 6 vorgesehen, dem als Eingangssignale die überwachten Betriebsparameter der Brennkraftmaschine 1 zugeführt werden können. Die dem Spülgasregler 6 zugeführten Betriebsparameter (z.B. Variationskoeffizient des indizierten Nutzmitteldrucks im Hauptbrennraum 3) können dabei vom Motormanagementsystem 5 stammen oder als Signale direkt von geeigneten Überwachungseinrichtungen (z.B. Sensoren) an der Brennkraftmaschine 1 an den Spülgasregler 6 gemeldet werden.

Mit Hilfe des Spülgasreglers 6 kann die chemische Zusammensetzung des Spülgases S verändert werden. Der Spülgasregler 6 kann über entsprechende Signalleitungen (strichliert dargestellt) Signale an verschiedene Einrichtungen senden, um diese zu beeinflussen. Die vom Spülgasregler 6 beeinflussbaren Einrichtungen sind z.B. der Stoffstrommischer 7 bzw. dessen Volumenregeleinrichtungen 8 für die Stoffströme B_1 , D, L, A, eine Treibstoffvolumenregeleinrichtung 13, eine Synthesegasregeleinrichtung 10, eine Spülgasregeleinrichtung 11 oder eine Spülgasvolumenregeleinrichtung 12. Durch die Beeinflussung einer oder mehrerer der beschriebenen Einrichtungen 8, 13, 10, 11, 12 kann die chemische Zusammensetzung des Spülgases S und/oder wenigstens eine physikalische Größe des Spülgases S (z.B. Druck, Temperatur, Massenstrom) verändert werden.

Insbesondere kann damit erreicht werden, dass ein Variationskoeffizient des indizierten Nutzmitteldrucks im Hauptbrennraum 3 überwacht wird und abhängig von einer Änderung des Variationskoeffizienten ein Massenstrom des wenigstens einen Stoffstroms B_1 , D, L, A verändert wird. Eine Änderung der Massenströme der Stoffströme B_1 , D, L, A kann dabei unter Zuhilfenahme von an sich bekannten Volumenregeleinrichtungen 8, wie z.B. Ventilen, erfolgen. Dafür sendet der Spülgasregler 6 entsprechende Stellsignale an die Volumenregeleinrichtungen 8 der Stoffströme B_1 , D, L, A.

Vorzugsweise kann ein Betrieb derart erfolgen, dass bei Überschreiten eines vorgebbaren ersten Grenzwerts des überwachten Variationskoeffizienten die Massenströme des Wasserdampfs D und der Luft L erhöht werden. Dadurch erzeugt der Kraftstoffreformer 4 mehr Wasserstoff. Insbesondere bei Betrieb der Brennkraftmaschine 1 mit Abgasrückführung kann auch der Massenstrom des Abgases A erhöht werden.

Die chemische Zusammensetzung des Spülgases S kann auch dadurch verändert werden, dass der Massenstrom des Treibstoffs B_2 verändert wird. Durch eine Änderung des Mischverhältnisses von Treibstoff B_2 und Synthesegas R im Spülgasmischer 9 kann gezielt Einfluss auf die chemische Zusammensetzung des Spülgases S genommen werden. Das Einstellen des gewünschten Mischverhältnisses von Treibstoff B_2 und Synthesegas R kann dabei durch den Spülgasregler 6 und in Abhängigkeit von einer Änderung des überwachten Betriebsparameters erfolgen, beispielsweise durch Änderung des Massenstroms des Treibstoffs B_2 mittels Treibstoffvolumenregeleinrichtung 13 (z.B. Dosierventil).

Für weitere vorteilhafte Beeinflussungen des Spülgases S kann auch vorgesehen sein, dass durch den Spülgasregler 6 beispielsweise die Temperatur und/oder der Wassergehalt des Synthesegases R beeinflusst wird. Vorzugsweise kann auch vorgesehen sein, dass durch den Spülgasregler 6 die Temperatur, der Druck und die Menge des in die Vorkammer 2 eingebrachten Spülgases S verändert wird. Eine Änderung von Temperatur und Wassergehalt des Synthesegases R kann beispielsweise mit Hilfe wenigstens einer Synthesegasregeleinrichtung 10 erfolgen.

Dabei kann es sich um an sich bekannte Wärmetauscher oder Kühleinrichtungen oder Kondensatabscheideeinrichtungen handeln.

Mithilfe wenigstens einer Spülgasregeleinrichtung 11 kann beispielsweise die Temperatur und/oder der Druck des Spülgases S durch den Spülgasregler 6 verändert werden. Bei der Spülgasregeleinrichtung 11 kann es sich beispielsweise um einen Wärmetauscher und/oder einen Verdichter handeln. Zur Veränderung des Massenstroms des in die Vorkammer 2 zuzuführenden Spülgases S kann eine bekannte Spülgasvolumenregeleinrichtung 12, wie beispielsweise ein Dosierventil, eingesetzt werden.

Fig. 2 zeigt ein schematisches Blockschaltbild gemäß Fig. 1 für den Fall einer Mehrmotorenanlage. In diesem Beispiel sind zwei Brennkraftmaschinen 1 dargestellt. Das Spülgas S für die Vorkammern 2 dieser Brennkraftmaschinen 1 setzt sich jeweils zusammen aus Synthesegas R aus einem Kraftstoffreformer 4 und Treibstoff B₂, der jeweils in einem einer Brennkraftmaschine 1 zugeordneten Spülgasmischer 9 dem Synthesegas R zugemischt wird. Dadurch kann ein Kraftstoffreformer 4 Synthesegas R für mehrere Brennkraftmaschinen 1 erzeugen. Durch eine Änderung der Reformereingangsstoffströme B₁, D, L, A mittels Volumenregeleinrichtungen 8 und mithilfe der zuvor beschriebenen Einrichtungen 13, 10, 11, 12 kann gezielt die chemische Zusammensetzung und/oder wenigstens eine physikalische Größe des Spülgases S individuell für jede Brennkraftmaschine 1 verändert werden. Im gezeigten Beispiel werden jeweils Betriebsparameter einer Brennkraftmaschine 1 durch das der Brennkraftmaschine 1 zugeordnete Motormanagementsystem 5 überwacht und entsprechende Signale an den Spülgasregler 6 gemeldet. Der Spülgasregler 6 kann diese Signale auswerten und abhängig von einer Änderung von wenigstens einem Betriebsparameter wenigstens einer der Brennkraftmaschinen 1 entsprechende Eingriffe an den Einrichtungen 8, 13, 10, 11, 12 vornehmen, um die jeweilige chemische Zusammensetzung und/oder wenigstens eine physikalische Größe des Spülgases S zu verändern, das den Vorkammern 2 einer jeweiligen Brennkraftmaschine 1 zugeführt wird.

Fig. 3 zeigt ein Diagramm mit Messwerten des indizierten Nutzmitteldrucks in einem Hauptbrennraum 3 einer Brennkraftmaschine 1. Die x-Achse des Diagramms stellt die Zeit t bzw. den Messwert n dar. Auf der y-Achse des Diagramms ist der jeweilige indizierte Nutzmitteldruck p_i eines Messwerts n dargestellt. Das Diagramm zeigt drei Messreihen I, II und III. Bei den Messwerten n der Messreihe I schwanken die Werte für die indizierten Nutzmitteldrücke p_i verhältnismäßig wenig um den arithmetischen Mittelwert der indizierten Nutzmitteldrücke p_i (strichlierte Linie). Im Vergleich dazu zeigen die Messreihen II und III Messwerte n , bei denen die Werte für die jeweiligen indizierten Nutzmitteldrücke p_i stärker voneinander abweichen. Für jede Messreihe I, II, III wird jeweils der arithmetische Mittelwert und die empirische Standardabweichung der indizierten Nutzmitteldrücke p_i ermittelt. Der Quotient aus der empirischen Standardabweichung und dem arithmetischen Mittelwert ergibt jeweils den Variationskoeffizienten für die jeweilige Messreihe I, II, III. Die Doppelpfeile 14 zeigen jeweils den doppelten Variationskoeffizienten für die jeweilige Messreihe I, II, III.

Innsbruck, am 18. Oktober 2011

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Betreiben wenigstens einer vorkammergezündeten Brennkraftmaschine (1), insbesondere eines stationären Gas-Otto-Motors, mit einer Vorkammer (2) und einem der Vorkammer (2) zugeordneten Hauptbrennraum (3), wobei der Vorkammer (2) ein Gasgemisch als Spülgas (S) zugeführt wird, wobei dem Spülgas (S) ein in einem Kraftstoffreformer (4) erzeugtes Synthesegas (R) und ein Treibstoff (B_2) aus einer Treibstoffquelle zugeführt werden und wobei dem Kraftstoffreformer (4) für den Reformierprozess ein Brennstoff (B_1) und wenigstens ein weiterer Stoffstrom (D, L, A) zugeführt werden, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Betriebsparameter der wenigstens einen Brennkraftmaschine überwacht wird, wobei abhängig von einer Änderung des wenigstens einen Betriebsparameters die chemische Zusammensetzung des Spülgases (S) durch eine Änderung des Massenstroms des wenigstens einen weiteren Stoffstroms (D, L, A) verändert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass dem Kraftstoffreformer (4) wenigstens einer der folgenden weiteren Stoffströme zugeführt wird: Wasser und/oder Wasserdampf (D) und/oder Luft (L) und/oder ein Treibstoff-Luft-Gemisch und/oder ein Abgas (A) der wenigstens einen Brennkraftmaschine (1).
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein erster Betriebsparameter basierend auf einem Variationskoeffizienten des indizierten Nutzmitteldrucks im Hauptbrennraum (3) überwacht wird, wobei die chemische Zusammensetzung des Spülgases (S) verändert wird, falls der erste Betriebsparameter einen vorgebbaren ersten Grenzwert überschreitet.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass bei Überschreiten des ersten Grenzwerts der Massenstrom des Wasserdampfs (D) und/oder der Massenstrom der Luft (L) und/oder der Massenstrom des Abgases (A) erhöht

wird bzw. werden, vorzugsweise proportional zur Änderung des ersten Betriebsparameters.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Massenstrom des Treibstoffs (B_2) verändert wird, vorzugsweise bei Überschreiten des ersten Grenzwerts verringert wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Grenzwert mit zunehmender Last und/oder zunehmendem Ladedruck der wenigstens einen Brennkraftmaschine (1) verändert, vorzugsweise erhöht, wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein zweiter Betriebsparameter basierend auf einer Zündkerzentemperatur einer Zündkerze in der Vorkammer (2) überwacht wird, wobei die chemische Zusammensetzung des Spülgases (S) verändert wird, falls der zweite Betriebsparameter einen vorgebbaren zweiten Grenzwert überschreitet.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass bei Überschreiten des zweiten Grenzwerts der Massenstrom des Wasserdampfs (D) und/oder der Massenstrom der Luft (L) und/oder der Massenstrom des Abgases (A) erhöht wird bzw. werden.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Massenstrom des Brennstoffs (B_1) und/oder der Massenstrom des Treibstoffs (B_2) verringert wird bzw. werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass ein dritter Betriebsparameter basierend auf einem Zündspannungsbedarf einer Zündkerze in der Vorkammer (2) überwacht wird, wobei die chemische Zusammensetzung des Spülgases (S) verändert wird, falls der dritte Betriebsparameter einen vorgebbaren dritten Grenzwert überschreitet.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass bei Überschreiten des dritten Grenzwerts der Massenstrom des Treibstoffs (B_2) erhöht wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens zwei Brennkraftmaschinen (1) vorgesehen sind, wobei Synthesegas (R) des Kraftstoffreformers (4), gegebenenfalls jeweils unter Beimischung von Treibstoff (B_2), als Spülgas (S) den Vorkammern (2) der wenigstens zwei Brennkraftmaschinen (1) zugeführt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass ein vierter Betriebsparameter basierend auf der Last und/oder dem Ladedruck wenigstens einer der wenigstens zwei Brennkraftmaschinen (1) überwacht wird, wobei abhängig von einer Änderung des vierten Betriebsparameters der Massenstrom des Spülgases (S) verändert wird.

Innsbruck, am 18. Oktober 2011

010834

Fig. 1

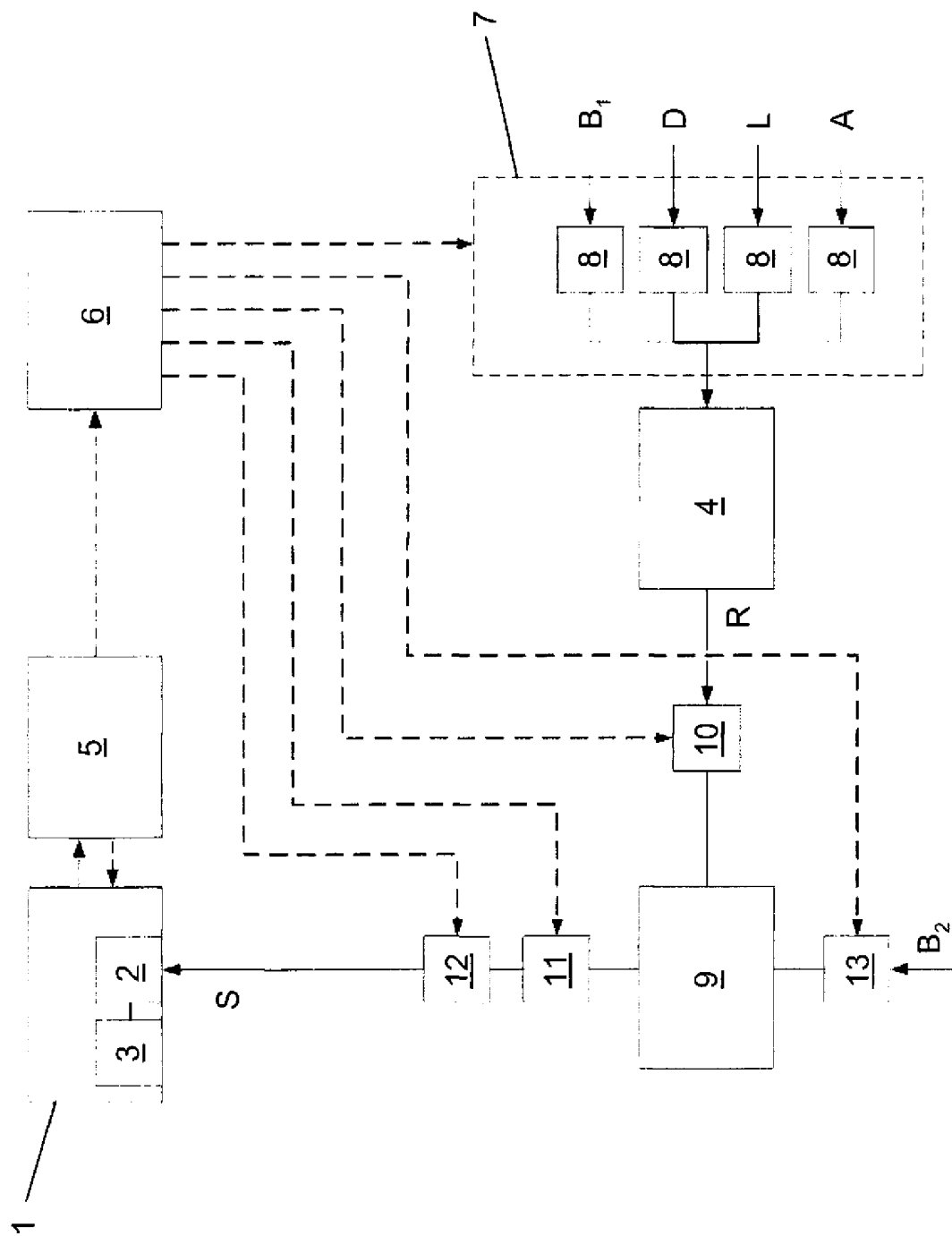


Fig. 2

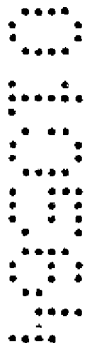
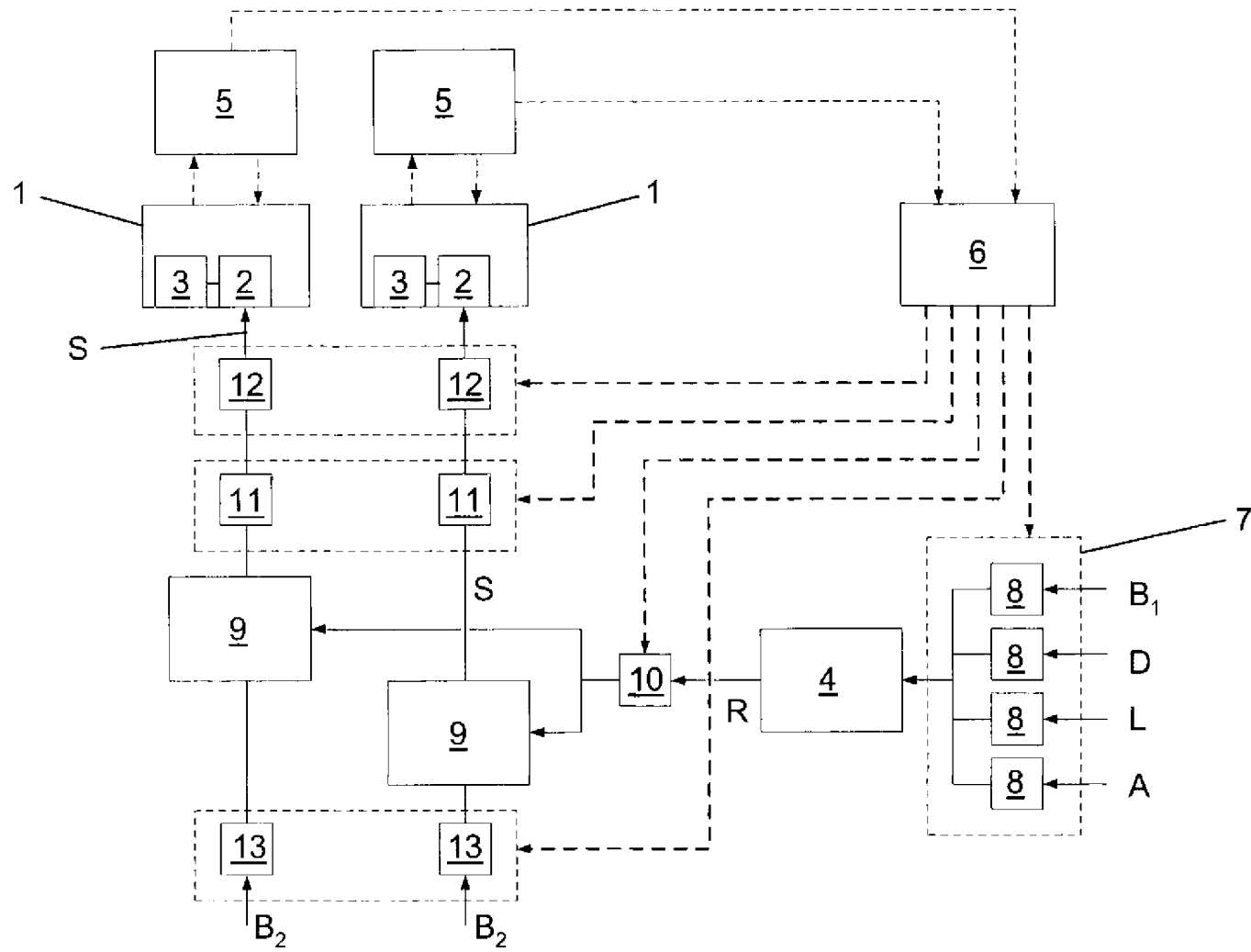
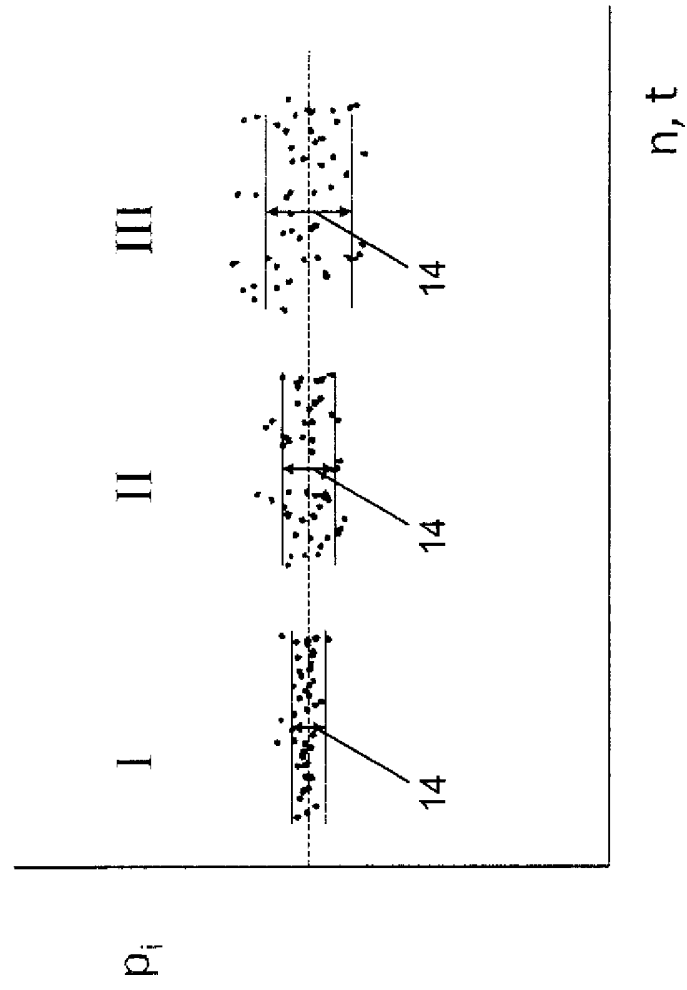


Fig. 3



010504