



(10)

(12)

(21) Anmeldenummer:

(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 19/02

(2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:

WO 2011/127494 A1

DE 102010029972 A1

(73) Patentanmelder:

GE JENBACHER GMBH & CO OHG

6200 JENBACH (AT)

(72) Erfinder:

Gruber Friedrich

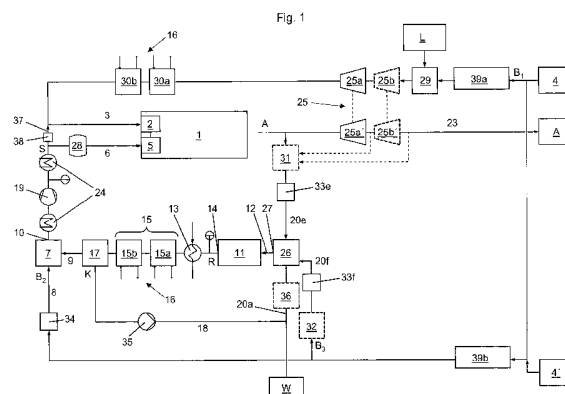
Hippach 44 (AT)

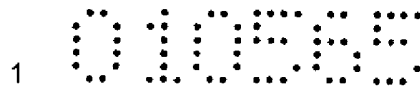
Wall Günther

Bad Häring (AT)

(54) **BRENNKRAFTMASCHINE, INSBESONDERE STATIONÄRER GASMOTOR, UMFASSEND EINEN BRENNRAUM**

(57) Brennkraftmaschine (1), insbesondere stationärer Gasmotor, umfassend einen Brennraum (2), dem über eine Brennraumleitung (3) ein Treibstoff (B_1) aus einer ersten Treibstoffquelle (4) zuführbar ist, eine Vorkammer (5), der über eine Spülgasleitung (6) ein Spülgas (S) zuführbar ist, wobei ein Spülgasmischer (7) vorgesehen ist, in dem ein über eine Treibstoffleitung (8) zuführbarer Treibstoff (B_2) aus der ersten Treibstoffquelle (4) oder aus einer zweiten Treibstoffquelle (4') und ein über eine Synthesegasleitung (9) zuführbares Synthesegas (R) mischbar sind und wobei ein Mischerausgang (10) in die Spülgasleitung (6) mündet, wobei das Synthesegas (R) durch einen Reformier (11) erzeugbar ist, dem über eine Reformierzuleitung (12) ein Brennstoff (B_3) aus einer Brennstoffquelle (4, 4') zuführbar ist und dessen Reformierausgang (14) in die Synthesegasleitung (9) mündet, wobei eine Kühlvorrichtung (13, 15) zum Kühlen des Synthesegases (R) vorgesehen ist.





Zusammenfassung

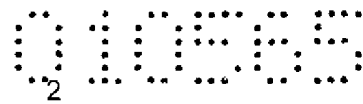
Brennkraftmaschine (1), insbesondere stationärer Gasmotor, umfassend einen Brennraum (2), dem über eine Brennraumleitung (3) ein Treibstoff (B_1) aus einer ersten Treibstoffquelle (4) zuführbar ist, eine Vorkammer (5), der über eine Spülgasleitung (6) ein Spülgas (S) zuführbar ist, wobei ein Spülgasmischer (7) vorgesehen ist, in dem ein über eine Treibstoffleitung (8) zuführbarer Treibstoff (B_2) aus der ersten Treibstoffquelle (4) oder aus einer zweiten Treibstoffquelle (4') und ein über eine Synthesegasleitung (9) zuführbares Synthesegas (R) mischbar sind und wobei ein Mischerausgang (10) in die Spülgasleitung (6) mündet, wobei das Synthesegas (R) durch einen Reformer (11) erzeugbar ist, dem über eine Reformierzuleitung (12) ein Brennstoff (B_3) aus einer Brennstoffquelle (4, 4') zuführbar ist und dessen Reformerausgang (14) in die Synthesegasleitung (9) mündet, wobei eine Kühlvorrichtung (13, 15) zum Kühlen des Synthesegases (R) vorgesehen ist.

(Fig. 1)

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine, insbesondere einen stationären Gasmotor, umfassend einen Brennraum, dem über eine Brennraumleitung ein Treibstoff aus einer ersten Treibstoffquelle zuführbar ist, eine Vorkammer, der über eine Spülgasleitung ein Spülgas zuführbar ist, wobei ein Spülgasmischer vorgesehen ist, in dem ein über eine Treibstoffleitung zuführbarer Treibstoff aus der ersten Treibstoffquelle oder aus einer zweiten Treibstoffquelle und ein über eine Synthesegasleitung zuführbares Synthesegas mischbar sind und wobei ein Mischerausgang in die Spülgasleitung mündet, wobei das Synthesegas durch einen Reformer erzeugbar ist, dem über eine Reformierzuleitung ein Brennstoff aus einer Brennstoffquelle zuführbar ist und dessen Reformerausgang in die Synthesegasleitung mündet.

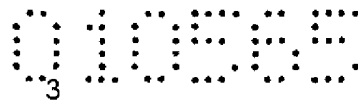
Bei ottomotorisch betriebenen Brennkraftmaschinen erfolgt die Zündung eines Treibstoff-Luft-Gemischs im Brennraum durch Zündeinrichtungen, wobei die Gemischentflammung meist durch einen Funkenüberschlag an den Elektroden einer Zündkerze eingeleitet wird. Alternativ ist es auch bekannt, als Zündeinrichtung 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



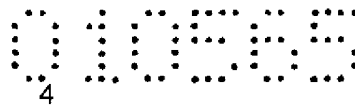
angeordneten Bauteile (z.B. Zündkerze, Ventile) und andererseits unerwünscht hohe Stickoxidemissionen.

Mit zunehmender Steigerung der Motorleistung sowie durch die Maßnahmen zur Steigerung des Wirkungsgrades kommt es darüber hinaus vermehrt zu Rußbildung in der Vorkammer. Der daraus resultierende Rußgehalt im Motorabgas führt zur Beeinträchtigung des Wärmeübergangs im Abhitzekeßel sowie zu Problemen bei bestimmten Anwendungen von Gasmotoren, beispielsweise zur CO₂-Düngung von Gewächshäusern.

Eine Möglichkeit zur Vermeidung der Rußbildung besteht darin, das Treibstoff-Luft-Gemisch in der Vorkammer abzumagern und durch einen leichten Sauerstoffüberschuss den freien Kohlenstoff zu oxidieren. Dabei ergeben sich jedoch andere Probleme, die damit zusammenhängen, dass überschüssiger Sauerstoff bei den sehr hohen Verbrennungstemperaturen knapp über $\lambda = 1$ zur Heißkorrosion an kritischen Stellen in der Vorkammer, insbesondere an den Überströmbohrungen sowie an den Zündkerzenelektroden, führen kann.

Aus dem Stand der Technik ist auch 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 Reformier geleitet, um den Treibstoff mit Wasserstoff anzureichern. Als Reformier können bekannte thermochemische Reaktoren wie beispielsweise Dampfreformer eingesetzt werden. Als nachteilig bei den bekannten Einrichtungen und Verfahren ist anzuführen, dass sich durch eine direkte Zuführung des durch den Reformier erzeugten Synthesegases zu den Vorkammern der Brennkraftmaschine eine verringerte Lebensdauer der Vorkammern und der darin angeordneten Bauteile ergibt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, hier Abhilfe zu schaffen und eine erhöhte Lebensdauer der Vorkammer und der darin angeordneten Bauteile zu erzielen.



Insbesondere soll eine ungewollte thermische Belastung (z.B. Heißkorrosion) der Vorkammer und der darin angeordneten Bauteile vermieden werden.

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

Gemäß der Erfindung ist also vorgesehen, dass eine Kühlvorrichtung zum Kühlen des Synthesegases vorgesehen ist.

Die aus dem Stand der Technik bekannten Reformiereinrichtungen führen das durch den Reformier erzeugte Synthesegas direkt den Vorkammern bzw. den Brennräumen der Brennkraftmaschine zu. Das Synthesegas aus Reformierprozessen hat jedoch je nach Betriebspunkt Temperaturen von 500°C bis 900°C. Wird nun das Synthesegas mit diesen hohen Temperaturen in die Vorkammer eingebracht, so führt dies zu einer erhöhten thermischen Belastung der Bauteile und zu Nachteilen in der Verbrennung, beispielsweise kann eine ungewollte Selbstzündung ausgelöst werden.

Durch eine Abkühlung des Synthesegases kann die Temperatur des der Vorkammer zugeführten Spülgases weiter reduziert werden, wodurch eine unnötig hohe thermische Belastung der Vorkammer und der darin angeordneten Bauteile vermieden werden kann.

Vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass die Kühlvorrichtung eine erste Kühlstufe und eine der ersten Kühlstufe nachgeschaltete zweite Kühlstufe aufweist. Um eine optimale Integration des Reformierbetriebs mit dem Gasmotorbetrieb zu erreichen, kann vorzugsweise vorgesehen sein, dass die Kühlvorrichtung Teil eines Kühlkreislaufs ist, der auch zur Kühlung weiterer Komponenten der Brennkraftmaschine, vorzugsweise der Zylinderlaufbuchsen und/oder der Zylinderköpfe, dient.

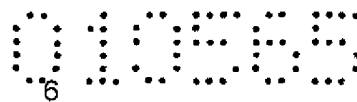
Beim Reformier kann es sich um einen autothermen chemischen Reaktor handeln, dem zur Erzeugung des Synthesegases ein Kohlenwasserstoff-beinhaltender

Brennstoff (z.B. Erdgas) aus einer Brennstoffquelle zuführbar ist. In einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Brennstoffquelle für den Reformier die erste Treibstoffquelle oder die zweite Treibstoffquelle ist. Es kann dabei auch vorgesehen sein, dass eine einzige Treibstoffquelle sowohl Treibstoff für den Brennraum und das Spülgas als auch den Brennstoff für den Reformier liefert.

Die Zuführung des Brennstoffs aus einer von der ersten Treibstoffquelle und/oder der zweiten Treibstoffquelle gesonderten Brennstoffquelle erweist sich jedoch besonders dann als vorteilhaft, wenn ein sehr heizwertschwaches Treibgas als Haupttreibstoff für die Brennkraftmaschine verwendet wird. In diesen Fällen würde die Verwendung des Treibgases der Brennkraftmaschine als Ausgangsbasis für die thermochemische Stoffumwandlung im Reformier ungünstige Verbrennungseigenschaften in den Vorkammern ergeben. Durch Verwendung von heizwertstarken und zum Beispiel zur besseren Lagerhaltung in flüssiger Form vorliegenden Brennstoffen kann ein relativ heizwertstarkes Synthesegas mit guten Verbrennungseigenschaften erzeugt werden. Die Erzeugung eines optimal zusammengesetzten Spülgases, unabhängig von der Beschaffenheit des Haupttreibstoffes für die Brennkraftmaschine, ermöglicht eine deutlich bessere Nutzbarkeit von sehr heizwertschwachen Treibgasen. Als heizwertschwache Treibgase können zum Beispiel Gichtgas oder Hochofengase genannt werden. Als alternative Spülgasbrennstoffe können beispielsweise Dieselkraftstoff oder Heizöl, LPG (Butan oder Propan) oder biogene Brennstoffe wie Ethanol oder Methanol verwendet werden.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass dem Reformier über wenigstens eine Stoffstromleitung wenigstens einer der folgenden Stoffströme zuführbar ist: Wasser und/oder Wasserdampf und/oder Luft und/oder ein Treibstoff-Luft-Gemisch und/oder ein Abgas der Brennkraftmaschine und/oder der Brennstoff.

Um die dem Reformier zuzuführenden Stoffströme optimal vermengen zu können, kann ein Reformgasmischer vorgesehen sein, in den die Stoffstromleitungen einmünden, wobei im Reformgasmischer die dem Reformier zuführbaren Stoffströme



mischbar sind und wobei ein Reformgasmischer Ausgang in die Reformierzuleitung mündet.

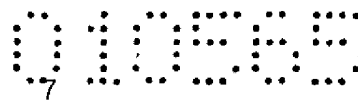
Um die dem Reformer bzw. Reformgasmischer zuzuführenden Stoffströme auf ein vorteilhaftes Druckniveau zu bringen, kann ein Verdichter vorgesehen sein, durch den die dem Reformer zugeführte Luft und/oder das dem Reformer zugeführte Treibstoff-Luft-Gemisch verdichtbar ist.

Es kann auch vorgesehen sein, dass die dem Reformer zugeführte Luft und/oder das dem Reformer zugeführte Treibstoff-Luft-Gemisch ein Teilstrom der Luft bzw. des Treibstoff-Luft-Gemischs für den Brennraum ist. Die Verwendung eines für den Brennraum der Brennkraftmaschine aufgeladenen Treibstoff-Luft-Gemischs als O_2 -Stoffstrom für den Reformer bringt eine wesentliche Energieeinsparung gegenüber einer Verdichtung von Umgebungsluft in einer gesonderten Verdichtungseinrichtung.

Eine besondere Ausführungsvariante sieht vor, dass eine Dampferzeugungsvorrichtung zur Erzeugung des dem Reformer zuführbaren Wasserdampfs vorgesehen ist.

Vorzugsweise kann dabei vorgesehen sein, dass die Dampferzeugungsvorrichtung zur Erzeugung des Wasserdampfs eine Abgaswärme der Brennkraftmaschine oder die bei der Erzeugung des Synthesegases anfallende Abwärme nutzt, indem die Dampferzeugungsvorrichtung in einer Abgasleitung oder in der Synthesegasleitung angeordnet ist.

Im Rahmen eines integrierten Reformergasmotorenkonzepts kann auch vorgesehen sein, dass für die Reformierung und Shiftreaktion im Reformer die Wärme-, Stoff- und Kühlkreisläufe der Brennkraftmaschine sowie das Druckniveau des Abgases der Brennkraftmaschine in der Art und Weise genutzt werden, dass für die Erhitzung der Stoffströme vor Eintritt in den Reformer – insbesondere für das Hochfahren aus dem kalten Zustand – die Abgaswärme, für die Zuführung von Kohlendioxid (CO_2), Wasser (H_2O) und Sauerstoff (O_2) ein Teil des Abgases und für die Rückkühlung des



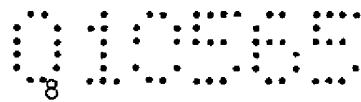
Reformates bzw. Synthesegases der Gemischkühlwasserkreislauf herangezogen werden.

Unter anderem kann also vorgesehen sein, dass dem Reformer über eine Stoffstromleitung ein Abgas der Brennkraftmaschine zuführbar ist. Dieser Abgas-Stoffstrom für den Reformer kann dabei auch über ein entsprechendes Stoffstromventil mengenregelbar sein. Eine besonders vorteilhafte Ausführung sieht vor, dass dem Reformer das Abgas vor dessen Durchströmen durch einen Abgasturbolader zuführbar ist, wodurch das vor der Abgasturbine vorherrschende Druckniveau entsprechend genutzt werden kann.

Dies kann dadurch erreicht werden, dass die Stoffstromleitung für das Abgas von der Abgasleitung abzweigt, vorzugsweise vor einem Abgasturbolader oder zwischen Abgasturbinen eines Abgasturboladers der Brennkraftmaschine. Bei mehrstufigen Abgasturboladern – beispielsweise mit zwei Abgasturbinen – kann demnach vorgesehen sein, dass das Abgas zwischen den zwei Abgasturbinen entnommen wird und somit das dort vorherrschende Druckniveau aufweist. Es ist aber selbstverständlich auch möglich, das Abgas nach dessen Durchströmen durch den Abgasturbolader zu entnehmen und dem Reformer zuzuführen. In diesem Fall weist das Abgas ein geringeres Druckniveau als vor dem Abgasturbolader oder zwischen den Abgasturbinen des Abgasturboladers auf.

Vorzugsweise kann generell auch vorgesehen sein, dass in der Stoffstromleitung für das Abgas ein Abgasfilter angeordnet ist. Dies wirkt sich positiv auf die Lebensdauer der Katalysatoroberfläche des Reformers aus.

Abgas setzt sich je nach Motorbetriebspunkt üblicherweise zusammen aus den Komponenten Wasserdampf mit etwa 11 Vol.-%, Kohlendioxid (CO_2) mit ca. 5 Vol.-% und Sauerstoff (O_2) mit ca. 10 Vol.-%. Den Rest bilden Stickstoff (N_2) und andere Spurenkomponenten. Über das Verhältnis des zudosierten Abgases zum reformierenden Brennstoff kann das Verbrennungsverhalten der Brennkraftmaschine beeinflusst werden. Bei höherem Abgasanteil wird die Verbrennung in der Vorkammer kühler und der Zündimpuls in den Brennraum schwächer. Damit kann

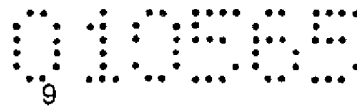


z.B. die Brenndauer erhöht und unter Inkaufnahme eines etwas schlechteren Wirkungsgrades der Brennkraftmaschine die Klopffestigkeit erhöht und der maximale Zylinderdruck reduziert werden. Dies kann wünschenswert sein, um eine optimale Anpassung des Brennverlaufs an Treibgase mit zeitlich veränderlicher Klopffestigkeit zu erzielen oder um die Brennkraftmaschine zeitlich begrenzt in einem Überlastbetrieb zu betreiben, beispielsweise zur Spitzenlastabdeckung.

Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn die dem Reformer zugeführte Brennstoffmenge etwa 1 bis 2 Vol.-% der gesamten Treibstoffmenge der Brennkraftmaschine beträgt. In Relation dazu kann günstigerweise die dem Reformer zugeführte Abgasmenge etwa das 3-fache bis 5-fache dieses Gasvolumenstroms betragen.

Abgas hat gegenüber der Verwendung von Wasserdampf neben den energetischen auch chemische Vorteile, sodass im Idealfall durch die Verwendung von Abgas auf eine davon gesonderte Zudosierung von Wasserdampf verzichtet werden kann.

Je höher der Wasserdampfanteil im Stoffstromgemisch in der Reformierzuleitung, desto stärker verlagert sich das Reaktionsgleichgewicht auf die Seite von H_2 und CO_2 zu Lasten von CO und desto geringer ist die Gefahr der Verrußung der Katalysatoroberfläche des Reformers. Der in den Reformer eingebrachte Wasserdampf wird jedoch nur zu einem Teil chemisch aufgebraucht. Der andere Teil verlässt den Reformer mit dem Synthesegas. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann daher vorgesehen sein, dass der Kühlvorrichtung eine Kondensatabscheidevorrichtung nachgeschaltet ist. Nach einer Rückkühlung des Synthesegases auf z.B. $45^\circ C$ kann ein in der Kondensatabscheidevorrichtung anfallendes Kondensat, vorzugsweise Wasser, über eine Kondensatleitung dem Reformer rückführbar sein. Das Kondensat kann dabei direkt unter Druck in den Reformer bzw. einen Reformgasmischer oder in eine Stoffstromleitung für das Abgas der Brennkraftmaschine eingedüst werden oder aber auch nach einer Verdampfung als Wasserdampf in den Reformer bzw. den Reformgasmischer oder in eine Stoffstromleitung für das Abgas der Brennkraftmaschine eingebracht werden. Zur Verdampfung kann dabei die bei der

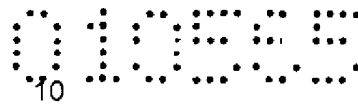


Erzeugung des Synthesegases anfallende Abwärme oder die Abwärme der Brennkraftmaschine, z.B. die Abgasabwärme, genutzt werden.

Generell können die Mengen der dem Reformer bzw. dem Reformgasmischer zuzuführenden Stoffströme (z.B. Wasser, Luft, Treibstoff-Luft-Gemisch, Wasserdampf, Abgas, Brennstoff) über entsprechende Stoffstromventile und der dem Spülgas bzw. dem Spülgasmischer zuzuführende Treibstoff bzw. darin enthaltenes Methan (CH_4) über ein Spülgastreibstoffventil eingestellt werden, beispielsweise über eine entsprechende Steuer- oder Regeleinrichtung. Eine Veränderung der entsprechenden Stoffstrom- und Spülgastreibstoffmengen kann auch durch ein vorhandenes Motormanagementsystem vorgenommen werden.

Dadurch kann eine Einstellung und Regelung der Zusammensetzung des Spülgases gemäß Motorbetriebsparameter durch Regelung des Reformers über die Stoffstrommengen der Stoffströme und damit Reformierung der jeweils optimalen Menge des Brennstoffs und nachfolgender Mischung von Synthesegas mit nichtreformiertem Treibstoff erfolgen. Eine solche Einstellung und Regelung einer von einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine (z.B. Motorlast) abhängigen, geeigneten Zusammensetzung des Spülgases ermöglicht unter anderem eine Optimierung des Motorbetriebs betreffend Wirkungsgrad, eine Optimierung des Motorbetriebs betreffend Emissionen und eine Minimierung von Energieverlusten aufgrund der hohen Temperaturen im Reformer (exotherme Reformreaktion). Insbesondere kann damit erreicht werden, dass im Reformer nur jene Menge an Wasserstoff (H_2) produziert wird, die für optimale Spülgaseigenschaften notwendig ist. Dadurch kann auch bei schwankenden Betriebszuständen der Brennkraftmaschine und Teillastfällen ein optimaler und wirtschaftlicher Betrieb gewährleistet werden. Generell kann damit auf Änderungen im Motorbetrieb (z.B. Teillast) reagiert werden und es lassen sich dadurch minimale Stickoxidemissionen (NO_x) bei gleichzeitiger Minimierung der Ruß- und Gesamtkohlenwasserstoff-Emissionen (THC) erzielen.

Vorzugsweise lässt sich die Zusammensetzung des Spülgases so einstellen, dass es einen Wasserstoff-Anteil von 10 – 35 Vol.-% und einen Methananteil von 10 – 35

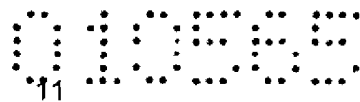


Vol.-% aufweist. Der Wasserstoff- und Methananteil im Spülgas kann auch in einer analytischen Funktion zu einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine (z.B. Motorlast) und zur Treibstoffzusammensetzung stehen.

An Sensorik können im Falle einer Steuerung bzw. Regelung der Spülgaszusammensetzung Sensoren für Wasserstoff und/oder Kohlenmonoxid und/oder Kohlendioxid an geeigneten, dem Fachmann bekannten, Messpunkten in der Brennkraftmaschinenanlage vorhanden sein. Weiters können die Volumenströme der Stoffströme zum Reformgasmischer und zum Spülgasmischer an geeigneter Stelle mit geeigneten Messgeräten gemessen werden. So kann beispielsweise die Gaszusammensetzung des Synthesegases mit Gassensoren am Reformerausgang gemessen und zur Dosierung der dem Reformer zuzuführenden Stoffströme abhängig von einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine (z.B. Motorlast) herangezogen werden. Es können aber auch die Synthesegas- und Spülgaszusammensetzungen über die gemessenen Volumenströme der Stoffströme und der bekannten Betriebscharakteristik des Reformers berechnet werden.

Das Spülgas muss je nach Motorlast auf den entsprechenden Ladedruck gebracht werden, beispielsweise 3 bis 4,5 bar(g), also 3 bis 4,5 bar Überdruck in Bezug auf den atmosphärischen Druck von ca. 1 bar. Die Stoffströme (z.B. Wasser, Luft, Treibstoff-Luft-Gemisch, Wasserdampf, Abgas, Brennstoff) für den Reformierprozess zur Erzeugung von Wasserstoff stehen aber im Normalfall nicht auf diesem Druckniveau zur Verfügung. Daher kann vorzugsweise ein Spülgasverdichter zum Verdichten des Spülgases vorgesehen sein, um den erforderlichen Spüldruck zu erzeugen. Es kann dabei vorgesehen sein, dass eine Steuerung bzw. Regelung des Spülgasdrucks abhängig von einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine (z.B. Motorlast) erfolgt. Damit kann gewährleistet werden, dass nur eine für einen bestimmten Betriebspunkt erforderliche Verdichtungsenergie aufgewendet wird.

Weiters kann vorgesehen sein, dass wenigstens eine Spülgaserwärmungseinrichtung zum Erwärmen des Spülgases vorgesehen ist. In Verbindung mit einer gezielten Rückkühlung und Kondensatabscheidung des Synthesegases können damit eine unerwünschte Kondensatbildung des Spülgases



und somit Schäden in der Vorkammer (z.B. Korrosion) vermieden werden. Ein Vorwärmen des Spülgases kann auch unter Nutzung von Motorabwärme (z.B. Abgas, Motorkühlwasser) oder unter Nutzung der Synthesegaswärme erfolgen.

Besonders vorteilhaft ist jene Ausführungsform der Erfindung, bei der in der Spülgasleitung ein Spülgaspuffer zum Zwischenspeichern des Spülgases vorgesehen ist. Dadurch lässt sich die Regelbarkeit der benötigten Spülgasmenge verbessern.

Gemäß einer weiteren Ausführungsvariante kann vorgesehen sein, dass ein Teilstrom des Spülgases über eine Teilstromleitung, die in die Brennraumleitung mündet, dem Brennraum zuführbar ist. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn eine Regelung der Spülgasmenge über einen Bypass erfolgt. Generell kann es zur Stabilisierung und einfacheren bzw. betriebssicheren Regelung und Steuerung des thermochemischen Prozesses im Reformer vorteilhaft sein, eine größere Synthesegasmenge im Reformer zu erzeugen, als zur Spülung der Vorkammern erforderlich ist, und die überschüssige Menge zusammen mit einem Treibstoff-Luft-Gemisch den Brennräumen der Brennkraftmaschine zuzuführen.

In einer weiteren Ausführungsvariante kann eine Entschwefelungsvorrichtung zum Entschwefeln des Brennstoffs vorgesehen sein. Dies wirkt sich positiv auf die Lebensdauer der Katalysatoroberfläche des Reformers aus.

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

- Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer vorgeschlagenen Brennkraftmaschine mit Reformer und Kühlvorrichtung für das Synthesegas,
- Fig. 2a ein weiteres Ausführungsbeispiel einer vorgeschlagenen Brennkraftmaschine mit Luft- und Wasserdampf-Stoffströmen für den Reformer,
- Fig. 2b eine schematische Detaildarstellung eines Reformers mit Vorwärmung des gesamten Stoffstrom-Gemischs für den Reformer und

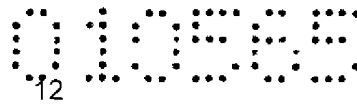
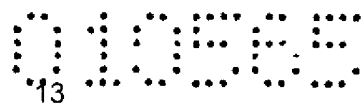


Fig. 3 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer vorgeschlagenen Brennkraftmaschine mit einer Dampferzeugungsvorrichtung in einer Abgasleitung der Brennkraftmaschine und Zuführung von Treibstoff-Luft-Gemisch zum Reformer.

Fig. 1 zeigt eine Brennkraftmaschine 1 mit einem Brennraum 2 und einer Vorkammer 5, die dem Brennraum 2 zugeordnet ist und als Zündverstärker für den Brennraum 2 dient. Dem Brennraum 2 wird über eine Brennraumleitung 3 ein Treibstoff B_1 aus einer ersten Treibstoffquelle 4 zugeführt. Die erste Treibstoffquelle 4 kann dabei eine Erdgasversorgung (z.B. Erdgaspipeline) sein. Der Treibstoff B_1 für den Brennraum 2 wird in diesem Beispiel in einem Hauptstrommischer 29 mit Umgebungsluft L zu einem Treibstoff-Luft-Gemisch vermischt und durch einen Abgasturbolader 25 geführt. Der Abgasturbolader kann eine oder zwei Verdichterstufen 25a, 25b aufweisen (strichliert angedeutet), die über jeweils eine Welle (strichliert angedeutet) mit einer oder zwei Abgasturbinen 25a', 25b' in der Abgasleitung 23 der Brennkraftmaschine 1 verbunden sind. Nach der Verdichtung in der oder den Verdichterstufen 25a, 25b wird das Treibstoff-Luft-Gemisch durch zwei Hauptstromkühlstufen 30a und 30b geführt, um das Treibstoff-Luft-Gemisch abzukühlen und damit die Verbrennungseigenschaften in bekannter Art und Weise zu verbessern.

In die Vorkammer 5 der Brennkraftmaschine 1 wird über eine Spülgasleitung 6 ein Spülgas S eingebracht. Dieses Spülgas S umfasst einen Treibstoff B₂ sowie ein Synthesegas R, welches in einem Reformer 11 erzeugt wird. In einen Spülgasmischer 7 wird über eine Synthesegasleitung 9 das Synthesegas R und über eine Treibstoffleitung 8 der Treibstoff B₂ eingebracht und vermischt. Der Mischerausgang 10 mündet in die Spülgasleitung 6. Der Treibstoff B₂, der über die Treibstoffleitung 8 in den Spülgasmischer 7 eingebracht wird, kann beispielsweise aus der ersten Treibstoffquelle 4 und/oder einer davon gesonderten zweiten Treibstoffquelle 4' stammen.

Dem Reformer 11 wird für den Reformierprozess ein Brennstoff B₃ über eine Reformierzuleitung 12 zugeführt. Im konkreten Beispiel ist der Reformierzuleitung 12



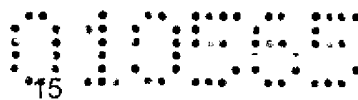
ein Reformgasmischer 26 vorgeschaltet, in den mehrere Stoffströme über Stoffstromleitungen 20a, 20e, 20f zugeführt und vermischelt werden können. Der Brennstoff B_3 wird hier also über die Stoffstromleitung 20f dem Reformgasmischer 26 zugeführt. In Abhängigkeit der Schwefelbeladung des Brennstoffes B_3 kann es für die Bauteilstandzeit vorteilhaft sein, den Brennstoff B_3 vor Zuführung zum Reformierprozess über eine geeignete Entschwefelungsvorrichtung 32 zu entschwefeln. Die Entschwefelung verringert die Deaktivierung des Katalysators und erhöht somit die Lebensdauer des Katalysators. Die optionale Entschwefelungsvorrichtung 32 ist strichliert in der Stoffstromleitung 20f angedeutet. Im Reformgasmischer 26 kann der entschwefelte Brennstoff B_3 mit den weiteren Stoffströmen Wasser W und Abgas A, die über die Stoffstromleitungen 20a und 20e zugeführt werden können, vermischelt werden. Der Reformgasmischerausgang 27 mündet dann in die Reformierzuleitung 12.

Die neben dem Brennstoff B_3 dem Reformgasmischer 26 zuführbaren Stoffströme sind in diesem Ausführungsbeispiel Wasser W, das über die Stoffstromleitung 20a dem Reformgasmischer 26 zugeführt werden kann sowie ein Teilstrom des Abgases A der Brennkraftmaschine 1, das nach einer optionalen (strichliert angedeutet) Filterung in einem Abgasfilter 31 über die Stoffstromleitung 20e dem Reformgasmischer 26 zugeführt werden kann. Durch die Zuführung eines Teilstroms des Abgases A, das beispielsweise bei einem Druck von 4 bar(g) und einer Temperatur von 500°C an der Stoffstromleitung 20e anliegen kann, können sowohl die für eine Reformierung günstige chemische Zusammensetzung des Abgases A als auch dessen Druck- und Temperaturniveau für den Reformierprozess vorteilhaft genutzt werden. Für die Entnahme des Abgases A ist vorgesehen, dass die Stoffstromleitung 20e für das Abgas A von der Abgasleitung 23 abzweigt, vorzugsweise vor einem Abgasturbolader 25 oder zwischen Abgasturbinen 25a', 25b' eines Abgasturboladers 25 der Brennkraftmaschine 1. Es kann auch vorgesehen sein, dass das Abgas A nach den Abgasturbinen 25a', 25b' des Abgasturboladers 25 abgezweigt wird. Im gezeigten Beispiel wird das Abgas A vor dem Abgasturbolader 25 und somit mit einem Druckniveau von beispielsweise 4 bar(g) entnommen, die alternativen Optionen sind strichliert angedeutet.

Bei Verwendung einer einzigen Treibstoffquelle 4 für den Treibstoff B_1 für die Brennräume 2 der Brennkraftmaschine 1, den Treibstoff B_2 für das Spülgas S und den Brennstoff B_3 für den Reformer 11 kann eine Aufteilung des Treibstoffs vorzugsweise derart erfolgen, dass 99% des Treibstoffs der Treibstoffquelle 4 für den Treibstoff B_1 und 1% des Treibstoffs für den Treibstoff B_2 und den Brennstoff B_3 verwendet werden. Bei der Treibstoffquelle 4 kann es sich um eine Erdgasquelle handeln, die ein Erdgas mit einem Druck größer 4 bar(g) bereitstellt und die Aufteilung dieses Erdgasstroms kann unter Zuhilfenahme geeigneter und im Stand der Technik bekannter Dosier- oder Regelventile 39a, 39b erfolgen.

Beim Reformer 11 handelt es sich im gezeigten Beispiel um einen autothermen Reformer, der an seinem Reformerausgang 14 ein mit Wasserstoff angereichertes Synthesegas R bereitstellt. Dieses Synthesegas R weist am Reformerausgang 14 typischerweise eine Temperatur von 500°C bis 900°C auf. Ein in der Synthesegasleitung 9 angeordneter Wärmetauscher 13 kann zur Nutzung dieser hohen Temperatur des Synthesegases R herangezogen werden. Beispielsweise kann der Wärmetauscher 13 dafür eingesetzt werden, die dem Reformgasmischer 26 zugeführten Stoffströme oder das gesamte Stoffstrom-Gemisch, das nach dem Reformgasmischer 26 über die Reformierzuleitung 12 dem Reformer 11 zugeführt wird, zu erwärmen. Dadurch, dass im Wärmetauscher 13 dem Synthesegas R Wärmeenergie entzogen wird, kann der Wärmetauscher 13 auch als Kühlvorrichtung im Sinne der Erfindung angesehen werden. Die dem Reformgasmischer 26 zugeführten Stoffströme können aber auch über andere Wärmetauscheinrichtungen der Brennkraftmaschine 1 vorgewärmt werden. So kann beispielsweise die Motorabwärme (z.B. Abgaswärme) zur Vorwärmung der Stoffströme herangezogen werden.

Das Synthesegas R wird in der gezeigten Ausführungsvariante nach dem Wärmetauscher 13 durch eine Kühlvorrichtung 15 geführt, die in diesem Beispiel eine erste Kühlstufe 15a und eine zweite Kühlstufe 15b umfasst. Im Rahmen eines integrierten Reformergasmotorenkonzepts ist die Kühlvorrichtung 15 in dieser Ausführungsvariante Teil eines Kühlkreislaufs 16, der auch zur Kühlung weiterer Komponenten der Brennkraftmaschine 1 dient. In diesem Beispiel sind auch die



Hauptstromkühlstufen 30a und 30b Teil des Kühlkreislaufs 16. Alternativ oder zusätzlich zur Verwendung eines in der Brennkraftmaschine 1 vorhandenen Kühlkreislaufs 16 kann es vorteilhaft sein, eine Abkühlung des Synthesegases R über einen von der Brennkraftmaschine 1 unabhängigen Kühlkreislauf durchzuführen. Die dafür notwendige Kälteenergie kann beispielsweise über Kühlwasser (z.B. Brunnenwasserkühlung) oder eine Kältemaschine bereitgestellt werden.

Aus dem Reformierprozess und über die eingebrachten Stoffströme enthält das Synthesegas R einen beträchtlichen Anteil an Wasserdampf. Um zu verhindern, dass bei einer Abkühlung des Synthesegases R unter den Taupunkt ein unerwünschtes Kondensat entsteht, das zu einer Beeinträchtigung des Motorbetriebes führen könnte, ist in diesem Beispiel der Kühlvorrichtung 15 eine Kondensatabscheidevorrichtung 17 nachgeschaltet, in der kontrolliert ein Kondensat K aus dem Synthesegas R abgeschieden werden kann. Das in der Kondensatabscheidevorrichtung 17 anfallende Kondensat K kann dabei über eine Kondensatleitung 18 wieder dem Reformer 11 rückgeführt werden. Im gezeigten Beispiel mündet die Kondensatleitung 18 in die Stoffstromleitung 20a, durch die Wasser W in den Reformgasmischer 26 eingebracht werden kann. Das Kondensat K in Form von Wasser wird nach einer Druckerhöhung in einer Kondensatpumpe 35 über die Stoffstromleitung 20a direkt oder über einen optionalen Verdampfer 36 (strichliert angedeutet) in den Reformgasmischer 26 oder die Stoffstromleitung 20e für das Abgas A der Brennkraftmaschine 1 eingedüst. Für die Verdampfung kann dabei Wärme aus dem Abgas A oder dem Synthesegas R verwendet werden.

Um das Spülgas S je nach Motorlast auf den entsprechenden Ladedruck von ca. 3 bis 4,5 bar(g) zu bringen, ist in der Spülgasleitung 6 ein Spülgasverdichter 19 vorgesehen. Über in der Spülgasleitung 6 angeordnete Spülgaserwärmungseinrichtungen 24 kann darüber hinaus das Spülgas S vor dem Einbringen in die Vorkammer 5 erwärmt werden. Zur Verbesserung der Regelbarkeit der Spülgasmenge ist in diesem Beispiel in der Spülgasleitung 6 ein Spülgaspuffer 28 angeordnet.

Im gezeigten Beispiel ist außerdem vorgesehen, dass ein Teilstrom des Spülgases S über eine Teilstromleitung 37, die in die Brennraumleitung 3 mündet, dem Brennraum 2 zuführbar ist. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn eine Regelung der Spülgasmenge über einen Bypass, der durch die Teilstromleitung 37 gebildet ist, erfolgen soll. Zur Regelung dieser Bypass-Spülgasmenge kann eine entsprechende Mengenregeleinrichtung 38 zum Einsatz kommen.

Zusätzlich oder alternativ zur Abgasrückführung in den Reformgasmischer 26 können auch Luft und Wasserdampf als gesonderte Stoffströme dem Reformgasmischer 26 zugeführt werden. Diese Ausführungsvariante ist schematisch in Fig. 2a gezeigt. Hierbei wird Umgebungsluft L in einem Verdichter 21 verdichtet und über die Stoffstromleitung 20c dem Reformgasmischer 26 zugeführt. Wasser W wird in einer Dampferzeugungsvorrichtung 22 zu Wasserdampf D gewandelt und dieser Wasserdampf D über die Stoffstromleitung 20b dem Reformgasmischer 26 zugeführt.

Fig. 2b zeigt schematisch eine Detaildarstellung eines Reformers 11 gemäß Fig. 2a. Hierbei erfolgt eine Wärmenutzung der Synthesegaswärme derart, dass die durch einen Wärmetauscher 13 aus dem Synthesegas R abgeführte Wärme zur Vorwärmung des gesamten Stoffstrom-Gemischs, das am Reformgasmischer Ausgang 27 anliegt, herangezogen wird. Dafür wird die Reformierzuleitung 12 durch den Wärmetauscher 13 geführt und somit das durch die Reformierzuleitung 12 durchströmende Stoffstrom-Gemisch erwärmt. Der Wärmetauscher 13 erfährt damit eine doppelte Nutzung, da durch ihn einerseits das Synthesegas R gekühlt und andererseits das gesamte Stoffstrom-Gemisch für den Reformer 11 vorgewärmt wird.

Anstatt die Luft L über einen gesonderten Verdichter 21 zu verdichten, kann auch das verdichtete Treibstoff-Luft-Gemisch G, das an der Brennraumleitung 3 für den Brennraum 2 der Brennkraftmaschine 1 anliegt, dem Reformgasmischer 26 zugeführt werden. Dieses Beispiel ist in Fig. 3 schematisch dargestellt. Hierbei wird über die Stoffstromleitung 20d ein Teilstrom des für den Brennraum 2 der Brennkraftmaschine 1 verdichteten Treibstoff-Luft-Gemischs G dem Reformgasmischer 26 zugeführt.

Darüber hinaus ist in diesem Beispiel eine Dampferzeugungsvorrichtung 22 in der Abgasleitung 23 der Brennkraftmaschine 1 angeordnet und macht damit von der Abgaswärme der Brennkraftmaschine 1 Gebrauch. Zur Wasserdampferzeugung in der Dampferzeugungsvorrichtung 22 könnte aber auch die hohe Temperatur des Synthesegases R nach dem Reformer 11 unter Verwendung des Wärmetauschers 13 genutzt werden.

Die Abwärme des Wärmetauschers 13 kann generell auch zur Vorwärmung der dem Reformer 11 bzw. dem Reformgasmischer 26 zuzuführenden Stoffströme, zur Vorwärmung des Spülgases S zur Verringerung der relativen Feuchte, oder auch zur Einbindung in eine Wärmenutzung der Gasmotorenanlage (z.B. Fernwärmeeinbindung) genutzt werden.

Im Sinne einer wirtschaftlichen Abwärmenutzung der Gesamtanlage kann prinzipiell eine Einbindung der sensiblen Wärme und der Kondensationswärme aus der Synthesegaskühlung mittels Wärmetauscher 13 und/oder Kühlvorrichtung 15 in die Motorkühlwasserkreise erfolgen. Dies kann beispielsweise mehrstufig durch eine Einbindung in das Motorkühlwassersystem zur Abwärmenutzung und/oder eine zusätzliche Einbindung in den Kühlwasserkreislauf der Gemischkühlung erfolgen. Falls erforderlich kann zusätzlich eine weitere Abkühlung und Kondensation des Synthesegases R über externe Kälteerzeugung (z.B. Brunnenwasserkühlung oder Kältemaschine) erfolgen.

Generell können die Mengen der dem Reformer 11 bzw. dem Reformgasmischer 26 über die Stoffstromleitungen 20a-20f zuzuführenden Stoffströme W, D, L, G, A, B₃ über entsprechende, mit Dosiereinrichtungen versehene, Stoffstromventile 33a-33f und der dem Spülgas S bzw. dem Spülgasmischer 7 zuzuführende Treibstoff B₂ über ein Spülgastreibstoffventil 34 eingestellt werden, beispielsweise über eine entsprechende Steuer- oder Regeleinrichtung. Eine Veränderung der entsprechenden Stoffstrom- und Spülgastreibstoffmengen kann auch durch eine Motorsteuerung bzw. -regelung vorgenommen werden.

Dadurch kann eine Einstellung und Regelung der Zusammensetzung des Spülgases S in Abhängigkeit wenigstens eines Motorbetriebsparameters durch Regelung des Reformers 11 über die Stoffstrommengen der Stoffströme W, D, L, G, A, B₃ und damit Reformierung der jeweils optimalen Menge des Brennstoffs B₃ und nachfolgender Mischung des im Reformer 11 erzeugten Synthesegases R mit nichtreformiertem Treibstoff B₂ erfolgen. Eine solche Einstellung und Regelung einer von einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine 1 (z.B. Motorlast) abhängigen, geeigneten Zusammensetzung des Spülgases S ermöglicht unter anderem eine Optimierung des Motorbetriebs betreffend Wirkungsgrad, eine Optimierung des Motorbetriebs betreffend Emissionen und eine Minimierung von Energieverlusten. Insbesondere lassen sich dadurch minimale Stickoxidemissionen (NO_x) bei gleichzeitiger Minimierung der Ruß- und Gesamtkohlenwasserstoff-Emissionen (THC) erzielen.

Unter Verwendung von Stoff- und Energieströmen der Gasmotoranlage (Abgas, Treibstoff, Treibstoff-Luft-Gemisch, Kühlwasser) kann darüber hinaus eine integrierte Gasmotor-Reformereinheit erzielt werden. Durch die Nutzung von vorhandenen Anlagenkomponenten und entsprechender verfahrenstechnischer Verschaltung kann damit ein effizientes Gesamtsystem erreicht werden. Durch eine optimierte Verschaltung der Stoff- und Energieströme der Brennkraftmaschine und der Reformereinheit kann ein möglichst wirtschaftlicher Betrieb der Gesamtanlage ermöglicht werden.

Innsbruck, am 18. Oktober 2011

Patentansprüche:

1. Brennkraftmaschine (1), insbesondere stationärer Gasmotor, umfassend einen Brennraum (2), dem über eine Brennraumleitung (3) ein Treibstoff (B_1) aus einer ersten Treibstoffquelle (4) zuführbar ist, eine Vorkammer (5), der über eine Spülgasleitung (6) ein Spülgas (S) zuführbar ist, wobei ein Spülgasmischer (7) vorgesehen ist, in dem ein über eine Treibstoffleitung (8) zuführbarer Treibstoff (B_2) aus der ersten Treibstoffquelle (4) oder aus einer zweiten Treibstoffquelle (4') und ein über eine Synthesegasleitung (9) zuführbares Synthesegas (R) mischbar sind und wobei ein Mischerausgang (10) in die Spülgasleitung (6) mündet, wobei das Synthesegas (R) durch einen Reformier (11) erzeugbar ist, dem über eine Reformierzuleitung (12) ein Brennstoff (B_3) aus einer Brennstoffquelle (4, 4') zuführbar ist und dessen Reformierausgang (14) in die Synthesegasleitung (9) mündet, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kühlvorrichtung (13, 15) zum Kühlen des Synthesegases (R) vorgesehen ist.
2. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlvorrichtung (13, 15) eine erste Kühlstufe (15a) und eine der ersten Kühlstufe (15a) nachgeschaltete zweite Kühlstufe (15b) aufweist.
3. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlvorrichtung (13, 15) Teil eines Kühlkreislaufs (16) ist, der auch zur Kühlung weiterer Komponenten der Brennkraftmaschine (1), vorzugsweise der Zylinderlaufbuchsen und/oder der Zylinderköpfe, dient.
4. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Kühlvorrichtung (13, 15) eine Kondensatabscheidevorrichtung (17) nachgeschaltet ist.
5. Brennkraftmaschine nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein in der Kondensatabscheidevorrichtung (17) anfallendes Kondensat (K), vorzugsweise Wasser, über eine Kondensatleitung (18) dem Reformier (11) rückführbar ist.

6. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein Spülgasverdichter (19) zum Verdichten des Spülgases (S) vorgesehen ist.
7. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennstoffquelle für den Reformer (11) die erste Treibstoffquelle (4) oder die zweite Treibstoffquelle (4') ist.
8. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass dem Reformer (11) über wenigstens eine Stoffstromleitung (20a, 20b, 20c, 20d, 20e, 20f) wenigstens einer der folgenden Stoffströme zuführbar ist: Wasser (W) und/oder Wasserdampf (D) und/oder Luft (L) und/oder ein Treibstoff-Luft-Gemisch (G) und/oder ein Abgas (A) der Brennkraftmaschine (1) und/oder der Brennstoff (B_3).
9. Brennkraftmaschine nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass ein Reformgasmischer (26) vorgesehen ist, in den die Stoffstromleitungen (20a-20f) einmünden, wobei im Reformgasmischer (26) die dem Reformer (11) zuführbaren Stoffströme mischbar sind und wobei ein Reformgasmischerausgang (27) in die Reformierzuleitung (12) mündet.
10. Brennkraftmaschine nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass ein Verdichter (21) vorgesehen ist, durch den die dem Reformer (11) zugeführte Luft (L) und/oder das dem Reformer (11) zugeführte Treibstoff-Luft-Gemisch (G) verdichtbar ist.
11. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die dem Reformer (11) zugeführte Luft (L) und/oder das dem Reformer (11) zugeführte Treibstoff-Luft-Gemisch (G) ein Teilstrom der Luft bzw. des Treibstoff-Luft-Gemischs für den Brennraum (2) ist.
12. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Stoffstromleitung (20e) für das Abgas (A) von der

Abgasleitung (23) abzweigt, vorzugsweise vor einem Abgasturbolader (25) oder zwischen Abgasturbinen (25a', 25b') eines Abgasturboladers (25) der Brennkraftmaschine (1).

13. Brennkraftmaschine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass in der Stoffstromleitung (20e) für das Abgas (A) ein Abgasfilter (31) angeordnet ist.
14. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine Dampferzeugungsvorrichtung (22) zur Erzeugung des dem Reformer (11) zuführbaren Wasserdampfs (D) vorgesehen ist.
15. Brennkraftmaschine nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Dampferzeugungsvorrichtung (22) zur Erzeugung des Wasserdampfs (D) eine Abgaswärme der Brennkraftmaschine (1) oder die bei der Erzeugung des Synthesegases (R) anfallende Abwärme nutzt, indem die Dampferzeugungsvorrichtung (22) in einer Abgasleitung (23) oder in der Synthesegasleitung (9) angeordnet ist.
16. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Spülgaserwärmungseinrichtung (24) zum Erwärmen des Spülgases (S) vorgesehen ist.
17. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass in der Spülgasleitung (6) ein Spülgaspuffer (28) zum Zwischenspeichern des Spülgases (S) vorgesehen ist.
18. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teilstrom des Spülgases (S) über eine Teilstromleitung (37), die in die Brennraumleitung (3) mündet, dem Brennraum (2) zuführbar ist.

19. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass eine Entschwefelungsvorrichtung (32) zum Entschwefeln des Brennstoffs (B_3) vorgesehen ist.

Innsbruck, am 18. Oktober 2011

Fig. 1

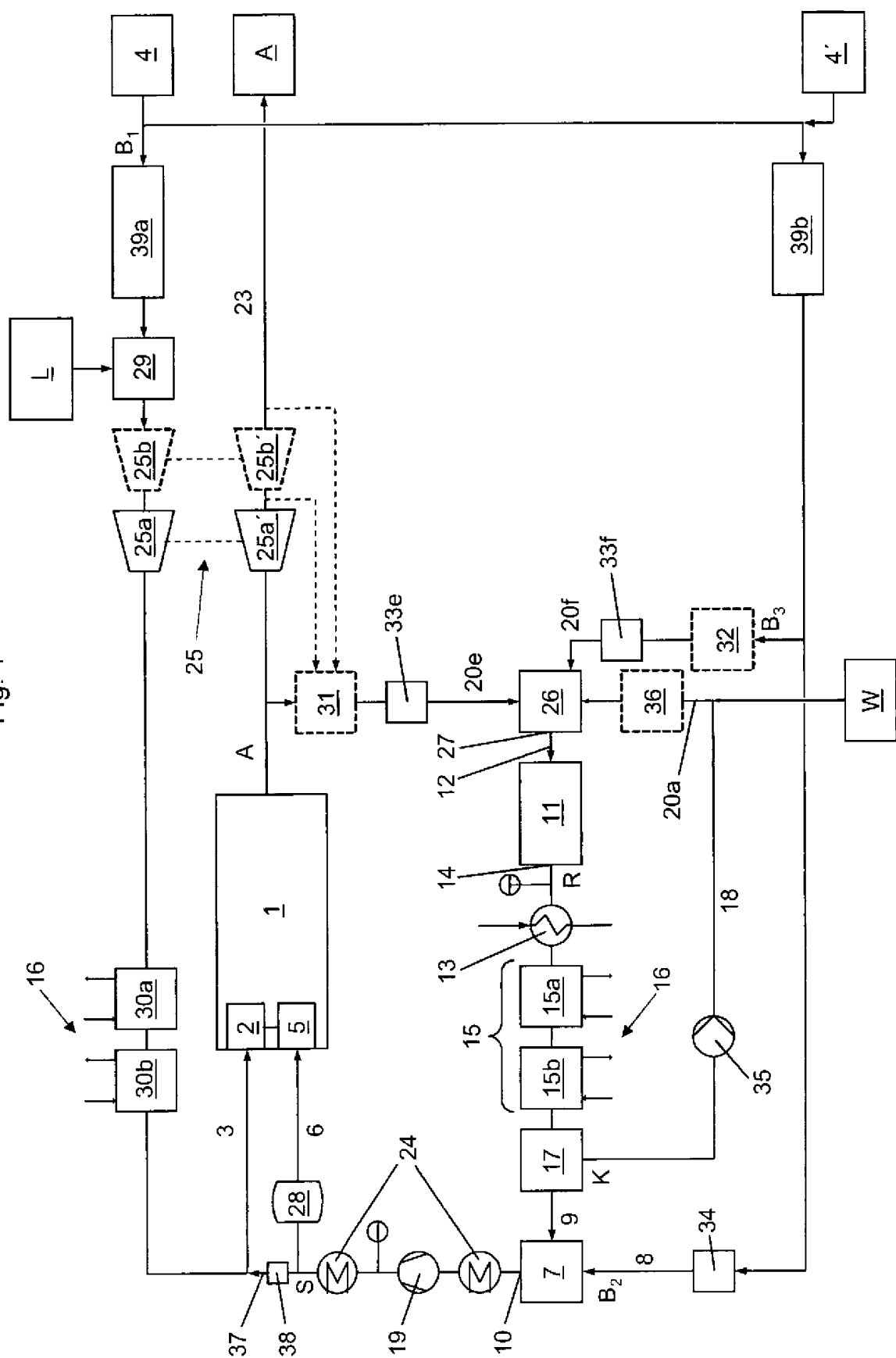


Fig. 2b

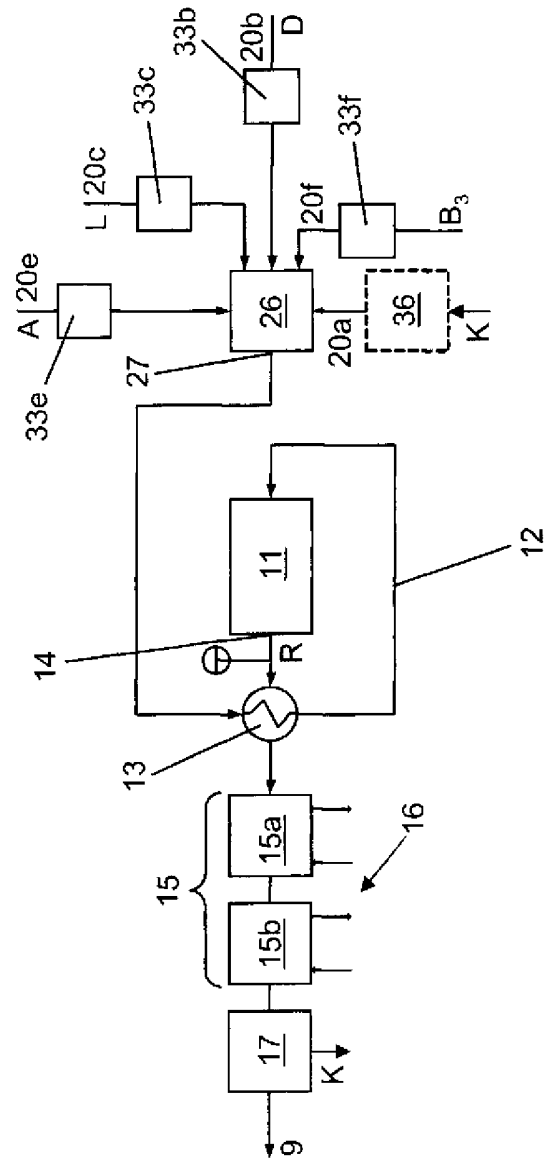


Fig. 3

