

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

699 761 B1

(51) Int. Cl.: F23R 3/36 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 01272/09

(22) Anmeldedatum: 14.08.2009

(43) Anmeldung veröffentlicht: 30.04.2010

(30) Priorität: 20.10.2008 US 12/254,395

(24) Patent erteilt: 15.06.2015

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.06.2015

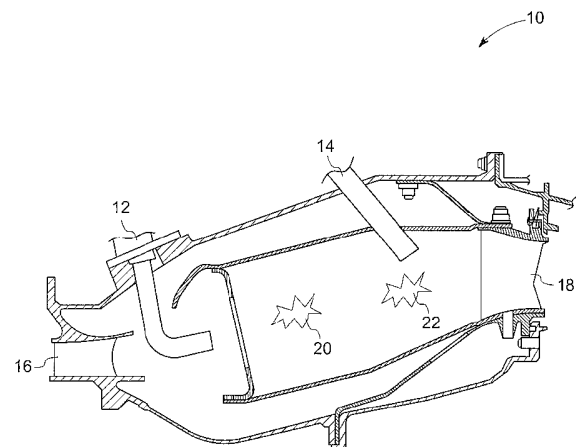
(73) Inhaber:
General Electric Company, 1 River Road
12345 Schenectady, New York (US)

(72) Erfinder:
John Dewey Blouch, Glenville, NY 12302 (US)
Ertan Yilmaz, Albany, NY 12205 (US)
Balachandar Varatharajan, Loveland, Ohio 45140 (US)

(74) Vertreter:
R. A. Egli & Co. Patentanwälte, Horneggstrasse 4
8008 Zürich (CH)

(54) Verfahren zur gestuften Verbrennung sowie gestuftes Verbrennungssystem.

(57) Es werden Verfahren zur gestuften Verbrennung und ein Verbrennungssystem zur Durchführung des Verfahrens bereitgestellt. Es wird aus einer ersten Brennstoffquelle ein erster Brennstoff mit einer ersten chemischen Zusammensetzung und aus einer zweiten Brennstoffquelle ein zweiter Brennstoff mit einer zweiten chemischen Zusammensetzung in ein Verbrennungssystem eingespritzt derart, dass eine relative reaktive Konzentration von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, einem Kohlenwasserstoff und/oder einer Kombination aus zwei oder mehr Kohlenwasserstoffen in der ersten chemischen Zusammensetzung anders ist als die der zweiten chemischen Zusammensetzung. Im Verbrennungssystem (10) sind zur Einspritzung des ersten und zweiten Brennstoffs jeweils eine erste und eine zweite Einspritzdüse (12, 14) in Strömungsrichtung entlang der Längsachse des Systems nacheinander angeordnet.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein gestuftes Verbrennungsverfahren und -system.

Stand der Technik

[0002] Es gibt verschiedene Typen von Gasturbinensystemen. Zum Beispiel werden triebwerksabgeleitete Gasturbinen für Anwendungen wie die Energieerzeugung, Schiffsantriebe, Gasverdichtung, Kraft-Wärme-Kopplung und Offshoreplattform-Energie eingesetzt. Ein Gasturbinensystem umfasst allgemein einen Verdichter, um einen Luftstrom zu verdichten, eine Brennkammer, die verdichtete Luft mit Brennstoff kombiniert und das Gemisch entzündet, um ein Arbeitsgas zu erzeugen, und einen Turbinenabschnitt, um das Arbeitsgas zu expandieren und Energie zu erzeugen. Die Brennkammer ist allgemein koaxial zum Verdichter und Turbinenabschnitt angeordnet.

[0003] Es ist vorteilhaft für die Brennkammern von Gasturbinensystemen, Emissionen wie Stickoxide (NO_x), Kohlenmonoxid und unverbrannte Kohlenwasserstoffe zu minimieren. Die axiale Stufung ist ein Ansatz zur Verringerung solcher Emissionen.

[0004] Selbst mit axialer Stufung werden NO_x bei höheren Flammentemperaturen in grösseren Mengen erzeugt. NO_x -Emissionen können reduziert werden, indem die Flammentemperatur gesenkt und/oder die Verweilzeit des Brennstoffs in Hochtemperaturzonen verkürzt wird. Kohlenmonoxid wird als ein Zwischenprodukt zwischen dem Brennstoff und Kohlendioxid erzeugt. Im Vergleich zu NO_x -Emissionen begünstigen eine längere Verweilzeit und höhere Temperaturen geringe Kohlenmonoxidemissionen. Eine anfängliche Flammenzone (oder erste Stufe) einer gestuften Brennkammer weist typischerweise eine niedrige Flammentemperatur und eine lange Verweilzeit auf, um ein Gleichgewicht zwischen den NO_x - und Kohlenmonoxidanforderungen herzustellen. Eine zweite Flammenzone wird benutzt, um die Verbrennungsprodukte auf die gewünschte Endtemperatur zu bringen, während die Verweilzeit bei dieser Temperatur minimiert wird. Typischerweise liegt die Einspritzdüse der zweiten Stufe in einer Zone mit höherer Temperatur als die Einspritzdüse der ersten Stufe. Daher ist die Einspritzdüse der zweiten Stufe anfälliger für Hitzeschäden. Gelegentlich kann Luft, Dampf, Stickstoff oder ein anderes Inertgas mit dem Brennstoff vermischt werden oder zusammen mit diesem in die zweite Stufe eingespritzt werden, um das Wärmemanagement zu verbessern und für Kühlung zu sorgen.

[0005] Die axiale Stufung wird auch benutzt, um ein anderes Brennkammerproblem anzusprechen, das als Verbrennungsdynamik oder -akustik bekannt ist. Die Verbrennungsdynamik resultiert aus einer Wechselwirkung zwischen der Wärme, die durch die Verbrennung freigesetzt wird, und den Druckwellen, die in der Brennkammer oder in den Brennstoffleitungen auftreten. In der axialen Stufung wird das Problem der Verbrennungsdynamik angesprochen, indem die Verbrennung über die zwei Zonen hinweg verteilt wird, um die Wechselwirkung zu entkoppeln oder abzuschwächen.

[0006] Die Verbrennungseigenschaften des Brennstoffs schränken die Gestaltungsmöglichkeiten in axial gestuften Brennkammern oft ein. Zum Beispiel können langsame Reaktionsgeschwindigkeiten zu einer unvollständigen Verbrennung und zur Emission von Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen führen. Andererseits können Reaktionsgeschwindigkeiten, die zu hoch sind, zum Halten der Flamme führen, wo die Reaktionszone der zweiten Stufe so nahe an der Einspritzdüse der zweiten Stufe liegt, dass sie Schaden erleiden kann. Schliesslich kann eine schlechte Mischung zwischen dem Brennstoff der zweiten Stufe und den Produkten der ersten Stufen beide obigen Probleme zusätzlich verschärfen, um heisse Flammenzonen zu erzeugen, die höhere NO_x -Pegel, schlecht stabilisierte Flammen und andere Probleme verursachen. Typischerweise können ein oder mehrere Verdünnungsmittel oder Luft dem Brennstoff zugesetzt werden oder in der Nähe des Brennstoffs in die gestufte Brennkammer eingespritzt werden, um das Moment des eingespritzten Brennstoffs zu erhöhen und dadurch Mischvorgänge zu verbessern.

[0007] Typischerweise wird die axial gestufte Brennkammer betrieben, indem Wärmeenergie von einer Stufe mit magererer Verbrennung oder der ersten Stufe zu einer Stufe mit fetterer Verbrennung oder der zweiten Stufe übertragen wird, um eine Teiloxidationsreaktion zu beschleunigen. Der Wärmeaustausch zwischen den Stufen wird zur Beschleunigung der Teiloxidationsreaktion genutzt, die in der Stufe mit dem höheren der zwei Äquivalenzverhältnisse auftritt. Der Wärmeaustausch kann durch eines oder mehreres von einer direkten Mischung der Verbrennungsgase der zwei Stufen oder einem Mechanismus zur Übertragung von Wärmeenergie ohne tatsächliche Mischung der Gasprodukte erleichtert werden, oder durch Einleitung von Dampf in eine oder beide Stufen.

Kurze Beschreibung

[0008] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur gestuften Verbrennung zu schaffen, das im Vergleich zu Verbrennungsverfahren des Standes der Technik mehr Flexibilität im Design von axial gestuften Verbrennungssystemen ermöglicht und deren Emissionen unerwünschter Gase reduziert sind.

[0009] Ein Verfahren zur gestuften Verbrennung gemäss Anspruch 1 umfasst in einer ersten Stufe das Einleiten eines ersten Brennstoffs und in einer zweiten Stufe das Einleiten eines zweiten Brennstoffs mit einer anderen chemischen Zusammensetzung als der erste Brennstoff, wobei eine relative reaktive Konzentration von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, eines

Kohlenwasserstoffs und/oder einer Kombination aus zwei oder mehreren Kohlenwasserstoffen in der ersten chemischen Zusammensetzung anders ist als die der zweiten chemischen Zusammensetzung.

[0010] Es ist ein gestuftes Verbrennungssystem nach Anspruch 8 offenbart, umfassend eine erste Brennstoffquelle zur Zuführung eines ersten Brennstoffs mit einer ersten chemischen Zusammensetzung, eine erste Einspritzdüse zur Einspritzung des ersten Brennstoffs, eine zweite Brennstoffquelle zur Zuführung eines zweiten Brennstoffs mit einer zweiten chemischen Zusammensetzung, wobei eine relative reaktive Konzentration eines oder mehrerer von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, einem Kohlenwasserstoff oder einer Kombination aus zwei oder mehr Kohlenwasserstoffen in der ersten chemischen Zusammensetzung anders ist als die der zweiten chemischen Zusammensetzung, und eine zweite Einspritzdüse, die angeordnet ist, um den zweiten Brennstoff in Strömungsrichtung der Brennstoffe nach der ersten Einspritzdüse einzuspritzen.

[0011] Es ist zudem eine für den Einbau in einem Verbrennungssystem gemäss der Erfindung geeignete gestufte Brennkammer offenbart, jedoch nicht beansprucht. Diese ist konfiguriert, um zwei oder mehr Brennstoffe mit verschiedenen chemischen Zusammensetzungen getrennt in zwei oder mehr Stufen der Brennkammer einzuleiten, wobei eine relative reaktive Konzentration von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, einem Kohlenwasserstoff und/oder einer Kombination aus zwei oder mehr Kohlenwasserstoffen in der ersten chemischen Zusammensetzung anders ist als die der zweiten chemischen Zusammensetzung.

[0012] Es ist ein weiteres Verfahren zur gestuften Verbrennung in besagtem Verbrennungssystem offenbart, jedoch nicht beansprucht. Dieses Verfahren umfasst das Einleiten eines Ausgangsbrennstoffs in einen Separator zur chemischen Trennung des Ausgangsbrennstoffs, um einen ersten Brennstoff und einen zweiten Brennstoff zu formen, wobei der erste Brennstoff weniger reaktiv ist als der zweite Brennstoff, das Einleiten des ersten Brennstoffs in eine erste Stufe; und dann das Einleiten des zweiten Brennstoffs in eine zweite Stufe.

[0013] Es ist zudem ein weiteres Verfahren zur gestuften Verbrennung in besagtem Verbrennungssystem offenbart, jedoch nicht beansprucht, umfassend das Aufteilen eines ersten Brennstoffs in einen ersten Anteil und einen zweiten Anteil; das Einleiten des ersten Anteils des ersten Brennstoffs in eine erste Stufe; das Mischen des zweiten Anteils des ersten Brennstoffs mit einem zusätzlichen Brennstoff, um einen zweiten Brennstoff zu formen, wobei der erste Brennstoff weniger reaktiv ist als der zweite Brennstoff; und dann das Einleiten des zweiten Brennstoffs in eine zweite Stufe.

Zeichnungen

[0014] Diese und andere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung gehen aus der folgenden ausführlichen Beschreibung in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen hervor, wobei gleiche Bezugszeichen in den Zeichnungen durchweg gleiche Teile darstellen, wobei:

- Fig. 1 eine Querschnittsansicht einer Brennkammer ist.
- Fig. 2–5 Blockdiagramme beispielhafter Ausführungsformen von gestuften Verbrennungssystemen sind, die hierin offenbart werden.
- Fig. 6 eine Querschnittsseitenansicht einer Brennkammer für einen Brennkammerabschnitt ist, der in einem Turbinensystem verwendet wird.

Ausführliche Beschreibung

[0015] In einer Ausführungsform, wie in Fig. 1 gezeigt, umfasst ein gestuftes Verbrennungssystem 10: eine erste Brennstoffquelle zur Zuführung eines ersten Brennstoffs mit einer ersten chemischen Zusammensetzung, eine zweite Brennstoffquelle zur Zuführung eines zweiten Brennstoffs mit einer zweiten chemischen Zusammensetzung derart, dass eine relative reaktive Konzentration von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, einem Kohlenwasserstoff und/oder einer Kombination aus zwei oder mehr Kohlenwasserstoffen in der ersten chemischen Zusammensetzung anders ist als die der zweiten chemischen Zusammensetzung. Hierin bedeutet eine andere «relative reaktive Konzentration» eine andere Konzentration unter den reaktiven Komponenten (Wasserstoff, Kohlenmonoxid, ein Kohlenwasserstoff oder eine Kombination aus zwei oder mehr Kohlenwasserstoffen) ungeachtet dessen, ob ein oder beide Brennstoffe eine oder mehrere nicht reaktive Komponenten wie Stickstoff, Kohlendioxid und Dampf enthalten. Mit anderen Worten, wenn nicht reaktive Komponenten aus dem ersten und zweiten Brennstoff entfernt würden, würden die resultierenden chemischen Zusammensetzungen immer noch verschieden sein. Hierin schliessen Singularformen wie «ein» und «der» den Plural ein, es sei denn, aus dem Kontext geht eindeutig etwas anderes hervor. Auch wenn zum Beispiel eine einzelne Einspritzdüse zum Einspritzen von Brennstoff aus jeder jeweiligen Brennstoffquelle gezeigt wird, können in einigen Ausführungsformen mehrfache Einspritzdüsen verwendet werden, um den ersten und/oder zweiten Brennstoff einzuspritzen.

[0016] In bestimmten Ausführungsformen kann der zweite Brennstoff einen reaktiveren Brennstoff als der erste Brennstoff enthalten. In einigen von diesen Ausführungsformen ist der erste Brennstoff ein Brennstoff mit einem niedrigeren Energiegehalt als der zweite Brennstoff. In den anderen Ausführungsformen ist der erste Brennstoff ein Brennstoff mit einem höheren Energiegehalt als der zweite Brennstoff. In der Ausführungsform, auf die nun eingegangen wird, ist eine erste

Einspritzdüse 12 vorhanden, um den ersten Brennstoff einzuspritzen, und eine zweite Einspritzdüse 14 ist vorhanden, um den zweiten Brennstoff einzuspritzen, wobei die zweite Einspritzdüse 14 hinter, d.h. in Strömungsrichtung nach der ersten Einspritzdüse 12 liegt. Die erste Einspritzdüse 12 kann in einer ersten Stufe des gestuften Verbrennungssystems 10 angeordnet sein. Entsprechend kann die zweite Einspritzdüse 14 in einer ersten Stufe des gestuften Verbrennungssystems 10 angeordnet sein. Typischerweise ist das vordere Ende der zweiten Stufe durch eine Halsregion mit reduziertem Querschnitt mit dem hinteren Ende der ersten Stufe verbunden. Mit anderen Worten, die Halsregion kann so verjüngt sein, dass der Querschnitt der Halsregion in der Nähe der ersten Stufe grösser ist als der Querschnitt der Halsregion in der Nähe der zweiten Stufe. Die erste und zweite Stufe können einen kreisrunden Querschnitt haben, obwohl auch andere Konfigurationen verwendet werden können.

[0017] In einer Ausführungsform können der erste und zweite Brennstoff beide flüssige Brennstoffe oder beide gasförmige Brennstoffe sein. In einer anderen Ausführungsform kann einer vom ersten Brennstoff oder zweiten Brennstoff ein flüssiger Brennstoff sein, und der andere kann ein gasförmiger Brennstoff sein. Hierin bezieht sich der Ausdruck «der reaktivere Brennstoff» auf einen Brennstoff, der eine vergleichsweise schnellere Reaktionsgeschwindigkeit hat, und dementsprechend bezieht sich der Ausdruck «der weniger reaktive Brennstoff» auf einen Brennstoff, der eine vergleichsweise langsamere Reaktionsgeschwindigkeit hat. Ferner bezieht sich hierin der Ausdruck «energiereicher Brennstoff» auf einen Brennstoff, der eine höhere Energiedichte hat, und dementsprechend bezieht sich der Ausdruck «energieärmer Brennstoff» auf einen Brennstoff, der eine geringere Energiedichte hat. Es ist anzumerken, dass ein energiereicher Brennstoff reaktiver als ein energieärmer Brennstoff sein kann oder nicht.

[0018] Das Verbrennungssystem 10 wird in einer gewünschten Anwendung eingesetzt, wobei verschiedene Beispiele dafür eine Gasturbine, einen Gaserzeuger, ein Gasturbinentriebwerk oder sonstige wärmeerzeugende Vorrichtungen einschliessen. Im dargestellten Beispiel weist das Verbrennungssystem 10 eine Eintrittsöffnung 16 für die Luft und eine Austrittsöffnung 18 auf. Die Bezugszeichen 20 und 22 beziehen sich jeweils auf die erste und zweite Verbrennungsstufe. Im Vergleich zu konventionellen Ansätzen, in denen der Brennstoff, der jeder Stufe zugesetzt wird, der gleiche ist, wobei der einzige Unterschied das Zusatzgas wie z.B. Luft ist, die in verschiedenen Stufen unterschiedlich gemischt sein kann, kann die Einspritzung eines reaktiveren Brennstoffs hinter dem Brennstoff, der von der ersten Einspritzdüse zugeführt wird, so erfolgen, dass sie zu weniger Schadstoffen führt, ein konstanteres Brennstoff/Luft-Verhältnis in der Verbrennungszone aufrecht erhält und Rückschlagereignisse in der Primärzone reduziert. In einer Ausführungsform werden einer oder beide vom ersten und zweiten Brennstoff mit Luft vorgemischt, bevor sie jeweils der ersten und zweiten Einspritzdüse zugeführt werden. In einer anderen Ausführungsform kann Brennstoff in einen vorderen Abschnitt der Brennkammer in Luft eingespritzt werden, wodurch der Brennstoff und Luft vor der Flammenzone gemischt werden können. Zusätzlich können zu Kühlzwecken kleine Luftmengen in die zweite Stufe eingespritzt werden.

[0019] Brennstoffe, die reaktiver sind als Erdgas, wie z.B. Wasserstoff, Ethan oder andere Kohlenwasserstoffe, neigen zu höheren Flammengeschwindigkeiten und/oder früheren Zündzeiten, die zur vorzeitigen Verbrennung in Abschnitten des Brennkammersystems führen können, die nicht ausgelegt sind, um Flammentemperaturen standzuhalten. Hierin bezieht sich der Ausdruck «Erdgas» auf einen gasförmigen Brennstoff, der hauptsächlich (CH_4) enthält, und von, aber ohne darauf beschränkt zu sein, Ethan (C_2H_6), Butan (C_4H_{10}), Propan (C_3H_8), Kohlendioxid (CO_2), Stickstoff (N_2), Helium (He_2), Schwefelwasserstoff (H_2S) oder Kombinationen davon. Bei Brennstoffen, die weniger reaktiv sind als Erdgas (zum Beispiel ein Brennstoff mit höheren Konzentrationen an Kohlenmonoxid oder Kohlendioxid oder Stickstoff oder Kombinationen davon), können langsame Flammengeschwindigkeiten zum Ausblasen führen, sodass der Reststrom die Flamme hinter ihre normale Stabilisationszone blasen und sie auslöschen kann. Wenn die Gesamtverweilzeit in der Brennkammer zu gering ist, kann die Verbrennung nicht vollständig erfolgen. In diesem Fall kann unverbrannter Brennstoff oder überschüssiges Kohlenmonoxid im Abgas vorhanden sein.

[0020] Indem die reaktiven Komponenten der Brennstoffströme alterniert werden und die Brennstoffzusammensetzungen, die in verschiedene Stufen eingespritzt werden, dadurch variiert werden, kann die Wirksamkeit der gestuften Verbrennung erhöht werden. Zum Beispiel kann ein Teil des reaktiveren Brennstoffs in die zweite Stufe der Brennkammer eingeleitet werden, sodass der zweite Brennstoff schnell verbrennt und die Verweilzeit minimiert wird. Dementsprechend kann der langsamer reagierende Brennstoff der ersten Zone der Brennkammer zugeführt werden, um die vollständige Verbrennung zu erlauben, indem die Verweilzeit des ersten Brennstoffs in der Brennkammer erhöht wird.

[0021] Zusätzlich können Inertstoffe wie Stickstoff und Kohlendioxid für das Wärmemanagement in die zweite Stufe eingeleitet werden. Zum Beispiel kann Stickstoff in die zweite Stufe eingeleitet werden, um die Kühlung der Einspritzdüse zu unterstützen.

[0022] In einer Ausführungsform hat der erste Brennstoff einen höheren Kohlenstoffgehalt als der zweite Brennstoff. In einer anderen Ausführungsform hat der zweite Brennstoff einen höheren Wasserstoffgehalt als der erste Brennstoff. In einem spezifischeren Beispiel enthält der erste Brennstoff eines oder mehreres von Erdgas oder Kohlenmonoxid oder Wasserstoff oder Stickstoff, und der zweite Brennstoff enthält eines oder mehreres von Wasserstoff oder Methan, grössere Kohlenwasserstoffe als Methan, oder Erdgas. Es ist anzumerken, dass die Zahl der Brennstoffquellen nicht unbedingt auf zwei beschränkt ist. In einigen Ausführungsformen kann das Verbrennungssystem mehr als zwei Brennstoffquellen aufweisen. Die gestufte Verbrennung kann auch axial gestuft oder radial gestuft, oder in einer anderen Form konfiguriert sein.

[0023] In einigen Ausführungsformen kann die zweite Einspritzdüse in einem Strom von Verbrennungsprodukten aus der ersten Stufe liegen. In einer Ausführungsform, wo das gestufte Verbrennungssystem in einer Gasturbine eingesetzt wird, kann die zweite Einspritzdüse in einem Turbineneinlassabschnitt oder auf dem Strömungsprofil der ersten Stufe eines Turbinenabschnitts angeordnet sein. In dieser Ausführungsform kann das Verbrennungssystem einen Ansaugabschnitt, einen hinter dem Ansaugabschnitt liegenden Verdichterabschnitt, einen Brennkammerabschnitt mit der ersten Stufe, die die erste Einspritzdüse verwendet, einer zweiten Stufe, die die zweite Einspritzdüse verwendet und hinter der ersten Stufe liegt, um einen Strom von Verbrennungsprodukten der ersten Stufe weiterzuverbrennen, einen Turbinenabschnitt und einen Austrittsabschnitt umfassen. Die Einspritzdüse weist eine Kopplung auf; eine Wand, die eine Stromlinienform definiert, die einen Brennstoffmischkanal umgibt; und mindestens einen Austritt für die Verbindung zwischen dem Brennstoffmischkanal und dem Strom der Primärverbrennungsprodukte. In anderen Ausführungsformen kann die zweite Einspritzdüse auf einer Fläche einer Wand der Brennkammer angeordnet sein, sodass die zweite Einspritzdüse in einem Strom der Verbrennungsprodukte aus der ersten Stufe liegt.

[0024] Nun Bezug nehmen auf Fig. 2, enthält eine erste Brennstoffquelle 24 einen ersten Brennstoff 26, der der ersten Einspritzdüse 12 zugeführt wird. Eine zweite Brennstoffquelle 30 enthält einen zweiten Brennstoff 32, der der Brennkammer durch die zweite Einspritzdüse 14 zugeführt wird. Zum Beispiel kann der erste Brennstoff 26 Erdgas enthalten, und der zweite Brennstoff 32 kann etwa 50 Volumenprozent Methan und etwa 50 Volumenprozent Kohlenmonoxid enthalten. In einer anderen Ausführungsform enthält der erste Brennstoff 26 Erdgas und der zweite Brennstoff 32 enthält etwa 50 Volumenprozent Methan und etwa 50 Volumenprozent Wasserstoff.

[0025] In einer Ausführungsform umfasst mindestens eine von der ersten und zweiten Brennstoffquelle einen Brennstoffseparator zur chemischen Trennung eines Ausgangsbrennstoffs in den ersten Brennstoff, zweiten Brennstoff oder beides. In der Ausführungsform von Fig. 3 zum Beispiel ist ein Brennstoffseparator 38 zur chemischen Trennung eines Brennstoffs vorgesehen, der von einer Ausgangsbrennstoffquelle 36 zugeführt wird. In der dargestellten Ausführungsform wird der Ausgangsbrennstoff, der in der Brennstoffquelle 36 enthalten ist, in ersten Brennstoff 40 und zweiten Brennstoff 44 trennt. Erster Brennstoff 40 wird zur ersten Einspritzdüse 12 gefördert, und zweiter Brennstoff 44 wird zur zweiten Einspritzdüse 14 gefördert.

[0026] In einem Beispiel, wo der Brennstoff in der Brennstoffquelle 36 etwa 90 Volumenprozent Wasserstoff und etwa 10 Volumenprozent Kohlenmonoxid enthält, enthält der erste Brennstoff 40 ein Gemisch aus etwa 20 Volumenprozent Kohlenmonoxid und 80 Volumenprozent Wasserstoff, wogegen der zweite Brennstoff 44 etwa 100 Volumenprozent Wasserstoff enthält. In dieser Ausführungsform kann der Brennstoff in der Brennstoffquelle 36 vorbehandelt werden, um mindestens einen Kohlenstoffanteil zu trennen.

[0027] In einem anderen Beispiel enthält der Brennstoff in der Brennstoffquelle 36 Gas, das in IGCC-Anlagen verwendet wird, wie z.B. «Syngas». Hierin kann «Syngas» gasförmigen Brennstoff wie z.B., aber ohne darauf beschränkt zu sein, Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO₂) und Wasserstoff (H₂) enthalten, wobei die Zusammensetzung vom Ausgangsmaterial abhängig ist. Zum Beispiel kann der Ausgangsbrennstoff eine Zusammensetzung haben, die etwa 40 Volumenprozent Wasserstoff, etwa 40 Volumenprozent Kohlenmonoxid und etwa 20 Volumenprozent Kohlendioxid enthält, der erste Brennstoff 40 kann ein Gemisch aus etwa 33,3 Volumenprozent Wasserstoff und etwa 66,6 Volumenprozent Kohlenmonoxid enthalten, und der zweite Brennstoff 44 kann etwa 50 Volumenprozent Wasserstoff und etwa 50 Volumenprozent Kohlendioxid enthalten.

[0028] In einem anderen Beispiel, wo der Brennstoff in der Brennstoffquelle 36 etwa 50 Volumenprozent Wasserstoff und etwa 50 Volumenprozent Kohlenmonoxid enthält, enthält der erste Brennstoff 38 etwa 100 Volumenprozent Kohlenmonoxid, wogegen der zweite Brennstoff 44 etwa 100 Volumenprozent Wasserstoff enthält.

[0029] In noch einem anderen Beispiel, wo der Brennstoff in der Brennstoffquelle 36 etwa 50 Volumenprozent Methan und etwa 50 Volumenprozent Wasserstoff enthält, enthält der erste Brennstoff 38 etwa 80 Volumenprozent Methan und etwa 20 Volumenprozent Wasserstoff, wogegen der zweite Brennstoff 44 etwa 20 Volumenprozent Methan und etwa 80 Volumenprozent Wasserstoff enthält.

[0030] In einer weiteren Ausführungsform weist mindestens eine von der ersten und zweiten Brennstoffquelle einen Brennstoffreformer 58 auf. Zum Beispiel stellt in Fig. 4 eine Ausgangsbrennstoffquelle 50 einen Brennstoff 51 bereit, der entlang der Brennstoffwege 52 und 56 in zwei Zweige aufgeteilt wird. Der erste Brennstoff 51 wird entlang des Brennstoffwegs 52 zur ersten Einspritzdüse 12 gefördert, und entlang des Wegs 56 wird der Brennstoff einem Reformer 58 ausgesetzt, der den Brennstoff chemisch umwandelt, um den zweiten Brennstoff 60 zur zweiten Einspritzdüse 14 bereitzustellen. In einer Ausführungsform kann der Reformer wie z.B. der Reformer 58 verwendet werden, um Erdgas oder anderen Kohlenwasserstoff-Brennstoff zum Beispiel in ein Gemisch aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff umzuwandeln. In einem Beispiel, wo der Brennstoff 51 in der Ausgangsbrennstoffquelle 50 Methan enthält, enthält der erste Brennstoff Methan, und der zweite Brennstoff 60 enthält ein Gemisch aus etwa 10 Volumenprozent Kohlenmonoxid, 20 Volumenprozent Wasserstoff und 70 Volumenprozent Methan.

[0031] In einer anderen Ausführungsform weist mindestens eine von der ersten und zweiten Brennstoffquelle einen Brennstoffmischer auf, um mindestens einen Anteil des ersten Brennstoffs und mindestens einen Anteil eines anderen Brennstoffs zu mischen. Wie in Fig. 5 gezeigt, enthält eine erste Brennstoffquelle 66 einen ersten Brennstoff 67. Ein erster An-

teil 68 des ersten Brennstoffs 67 wird der ersten Einspritzdüse 12 zugeführt. Eine zweite Brennstoffquelle 72 stellt einen zweiten Brennstoff 74 bereit, der der zweiten Einspritzdüse 14 zugeführt wird. Die zweite Brennstoffquelle 72 ist mit einer zusätzlichen Brennstoffquelle 78 kombiniert. In der dargestellten Ausführungsform mischt ein Mischer 80 einen Anteil 82 des ersten Brennstoffs mit dem zusätzlichen Brennstoff 84, um einen zweiten Brennstoff 74 bereitzustellen.

[0032] In einem Beispiel, in welchem der erste Brennstoff 67 ein Erdgas ist und die zusätzliche Brennstoffquelle 78 einen Brennstoff mit geringem Energiegehalt wie Stickstoff enthält, enthält der zweite Brennstoff 74 50 Volumenprozent des Brennstoffs mit geringem Energiegehalt (wie z.B. Stickstoff) und 50 Volumenprozent Erdgas. In einem anderen Beispiel ist der erste Brennstoff 67 ein Erdgas, die zusätzliche Brennstoffquelle 78 enthält einen Brennstoff mit hohem Energiegehalt wie Wasserstoff, und der zweite Brennstoff 74 enthält 50 Volumenprozent des Brennstoffs mit hohem Energiegehalt (wie z.B. Wasserstoff) und 50 Volumenprozent Erdgas. In den oben beschriebenen Ausführungsformen kann Luft, wenn gewünscht, mit jedem vom ersten oder zweiten Brennstoff gemischt werden.

[0033] In Fig. 6 wird allgemein eine axial gestufte Brennkammer 90 für ein Turbinensystem mit einem Brennkammerabschnitt 92 gezeigt. Das Turbinensystem wird in der US-Patentschrift Nr. 6868676, die hierin durch Bezugnahme in ihrer Gesamtheit aufgenommen wird, ausführlich beschrieben. Der Brennkammerabschnitt 92 weist eine erste Stufe 94 und eine zweite Stufe 96 auf, die hinter der ersten Stufe 92 liegt. In der dargestellten Ausführungsform weist die zweite Stufe 96 eine Einspritzdüse 98 auf, um ein Brennstoffgemisch der zweiten Stufe quer in einen Strom von Verbrennungsprodukten der ersten Stufe 94 einzuspritzen. Pfeile 99 stellen die Einstromrichtung der Luft dar, und der Pfeil 101 stellt die Austrittsrichtung der Abgase zum Turbinenabschnitt dar. Obwohl sie nicht dargestellt sind, kann das Turbinensystem auch einen Ansaugabschnitt, einen hinter dem Ansaugabschnitt liegenden Verdichterabschnitt, einen Turbinenabschnitt und einen Austrittsabschnitt umfassen. Der Brennkammerabschnitt 92 kann eine kreisförmige Anordnung mit einer Vielzahl von in der Umfangsrichtung beabstandeten Brennkammern 90 aufweisen. Ein Brennstoff-Luft-Gemisch wird in jeder Brennkammer 90 verbrannt, um einen heissen energetischen Gasstrom zu erzeugen, der durch ein Übergangsstück 100 strömt, um das Gas zum Strömungsprofil 102 der ersten Stufe des Turbinenabschnitts (nicht gezeigt) zu leiten. Es wird in Betracht gezogen, dass die vorliegende Technik in Verbindung mit verschiedenen Brennkammersystemen verwendet werden kann, einschliesslich, aber ohne darauf beschränkt zu sein, kreisförmige Brennkammersysteme und ringförmige Brennkammersysteme. In einigen Ausführungsformen kann verdichtete Luft der ersten Stufe 94 des Brennkammerabschnitts 92 zugeführt werden, um in einer Primärreaktionszone 104 jeder von der Vielzahl von Brennkammern 90 mit Brennstoffgemisch kombiniert und verbrannt zu werden. In einer Ausführungsform können Einspritzdüsen 98 am Turbinenabschnitt vorgesehen sein, wie zum Beispiel am Strömungsprofil 102 der ersten Stufe des Turbinenabschnitts.

Patentansprüche

1. Verfahren zur gestuften Verbrennung, umfassend:
Einspritzen in ein Verbrennungssystem (100) eines ersten Brennstoffs aus einer ersten Brennstoffquelle mit einer ersten chemischen Zusammensetzung mit einer ersten relativen reaktiven Konzentration von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, einem Kohlenwasserstoff und/oder einer Kombination von zwei oder mehr Kohlenwasserstoffen;
Einspritzen in das Verbrennungssystem (100) eines zweiten Brennstoffs aus einer zweiten Brennstoffquelle mit einer zweiten chemischen Zusammensetzung mit einer zweiten relativen reaktiven Konzentration von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, einem Kohlenwasserstoff und/oder einer Kombination von zwei oder mehr Kohlenwasserstoffen; wobei der zweite Brennstoff stromabwärts vom ersten Brennstoff eingespritzt wird, wobei die zweite Brennstoffquelle eine chemische Zusammensetzung mit einer relativen reaktiven Konzentration der genannten Elemente aufweist, die von der chemischen Zusammensetzung mit den genannten relativen reaktiven Konzentration des ersten Brennstoffs verschieden ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der erste Brennstoff reaktiver ist als der zweite Brennstoff, oder der zweite Brennstoff reaktiver ist als der erste Brennstoff.
3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der erste Brennstoff einen höheren Energiegehalt als der zweite Brennstoff aufweist, oder der zweite Brennstoff einen höheren Energiegehalt als der erste Brennstoff aufweist.
4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der erste Brennstoff einen höheren Kohlenstoffgehalt als der zweite Brennstoff aufweist.
5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der zweite Brennstoff einen höheren Wasserstoffgehalt als der erste Brennstoff aufweist.
6. Verfahren zur gestuften Verbrennung in einem gestuften Verbrennungssystem (10) gemäss Anspruch 1, umfassend:
das Einleiten eines Ausgangsbrennstoffs in einen Separator zur chemischen Trennung des Ausgangsbrennstoffs, um einen ersten Brennstoff und einen zweiten Brennstoff zu formen, wobei der erste Brennstoff weniger reaktiv ist als der zweite Brennstoff;
das Einleiten des ersten Brennstoffs in eine erste Stufe; und dann
das Einleiten des zweiten Brennstoffs in eine zweite Stufe.
7. Verfahren zur gestuften Verbrennung in einem gestuften Verbrennungssystem (10) gemäss Anspruch 1, umfassend:
das Aufteilen eines ersten Brennstoffs in einen ersten Anteil und einen zweiten Anteil;

das Einleiten des ersten Anteils des ersten Brennstoffs in eine erste Stufe;
das Mischen des zweiten Anteils des ersten Brennstoffs mit einem zusätzlichen Brennstoff, um einen zweiten Brennstoff zu formen, wobei der erste Brennstoff weniger reaktiv ist als der zweite Brennstoff; und dann
das Einleiten des zweiten Brennstoffs in eine zweite Stufe.

8. Gestuftes Verbrennungssystem (10) zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, aufweisend eine erste Brennstoffquelle zur Zuführung eines ersten Brennstoffs und eine zweite Brennstoffquelle zur Zuführung eines zweiten Brennstoffs, und eine erste für den ersten Brennstoff bestimmte und eine zweite für den zweiten Brennstoff bestimmte Einspritzdüse (12, 14), die in der Strömungsrichtung entlang der Längsachse des Verbrennungssystems (10) nacheinander angeordnet sind.

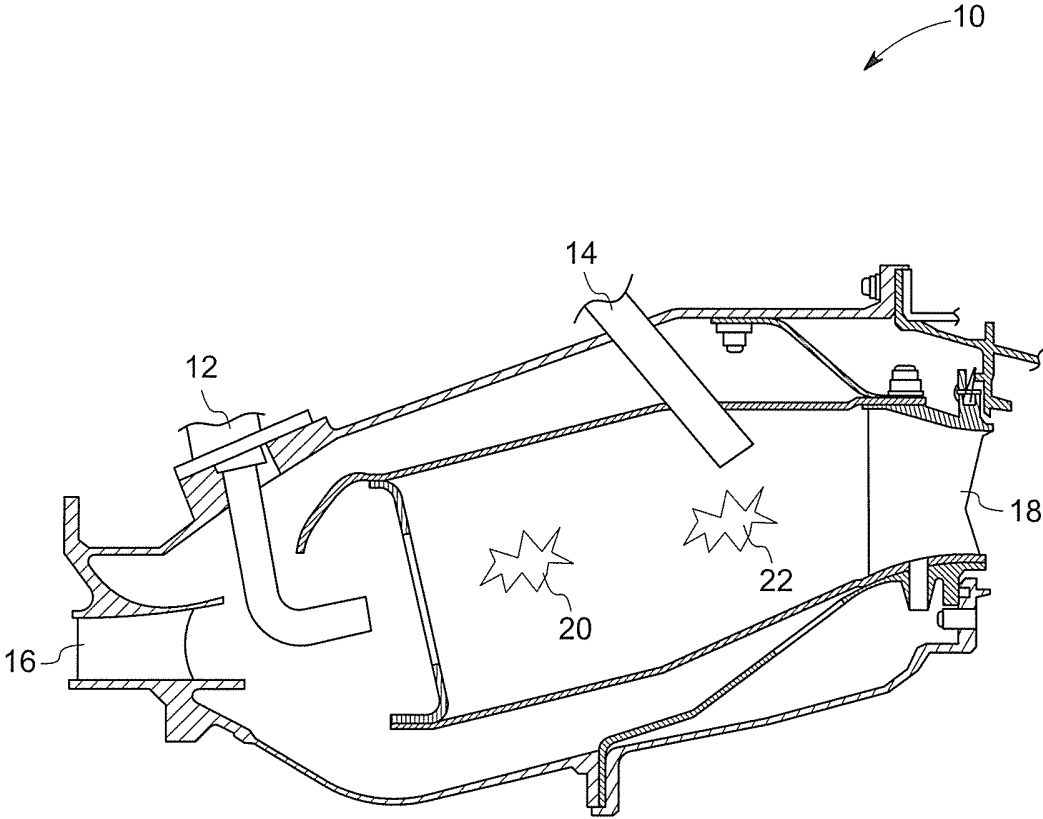


FIG. 1

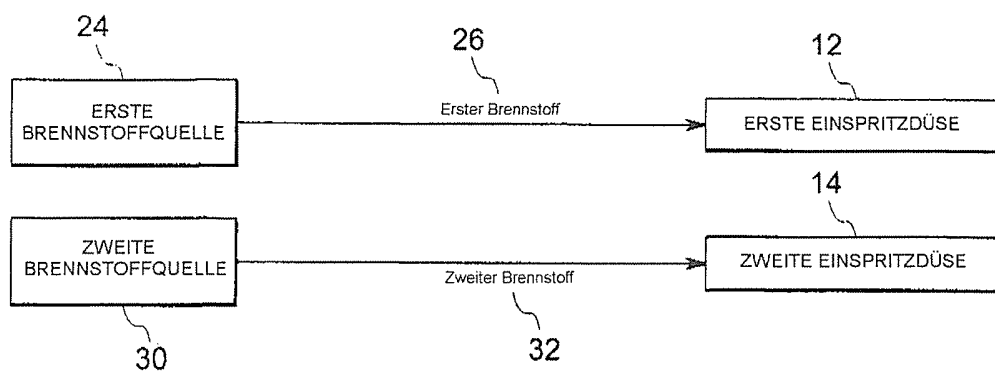


FIG. 2

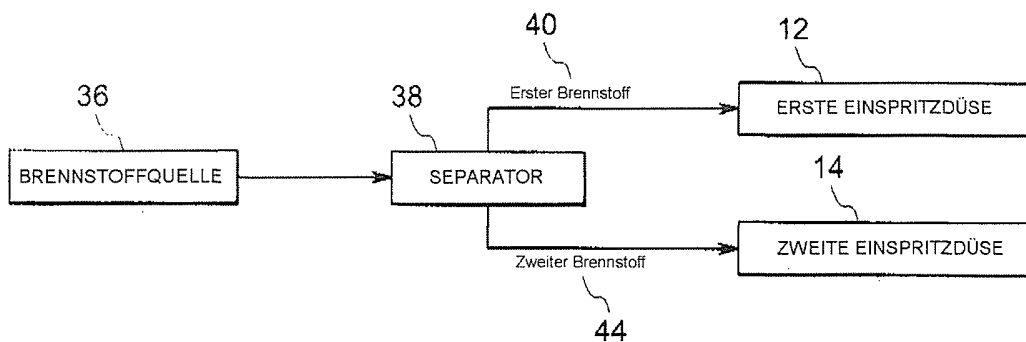


FIG. 3

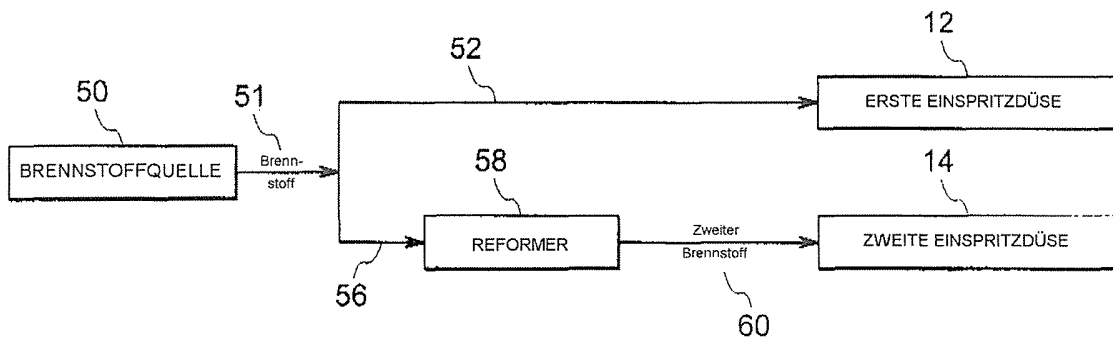


FIG. 4

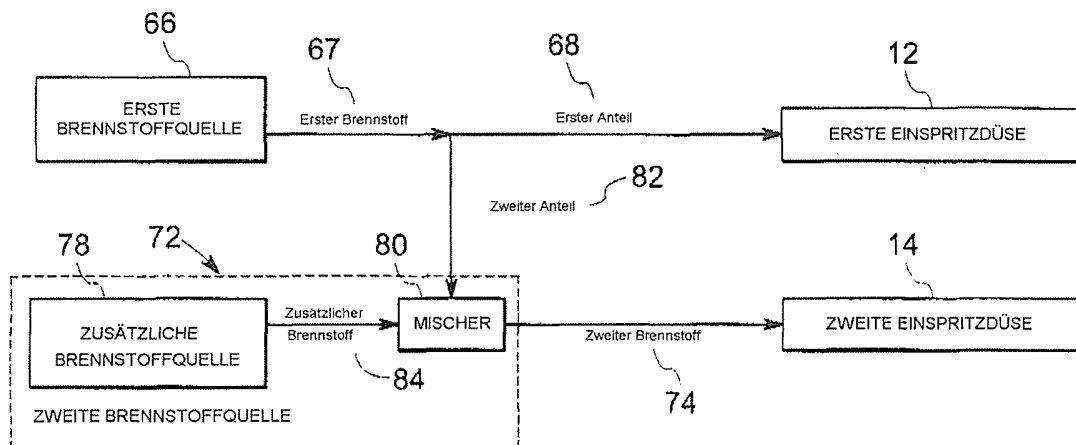


FIG. 5

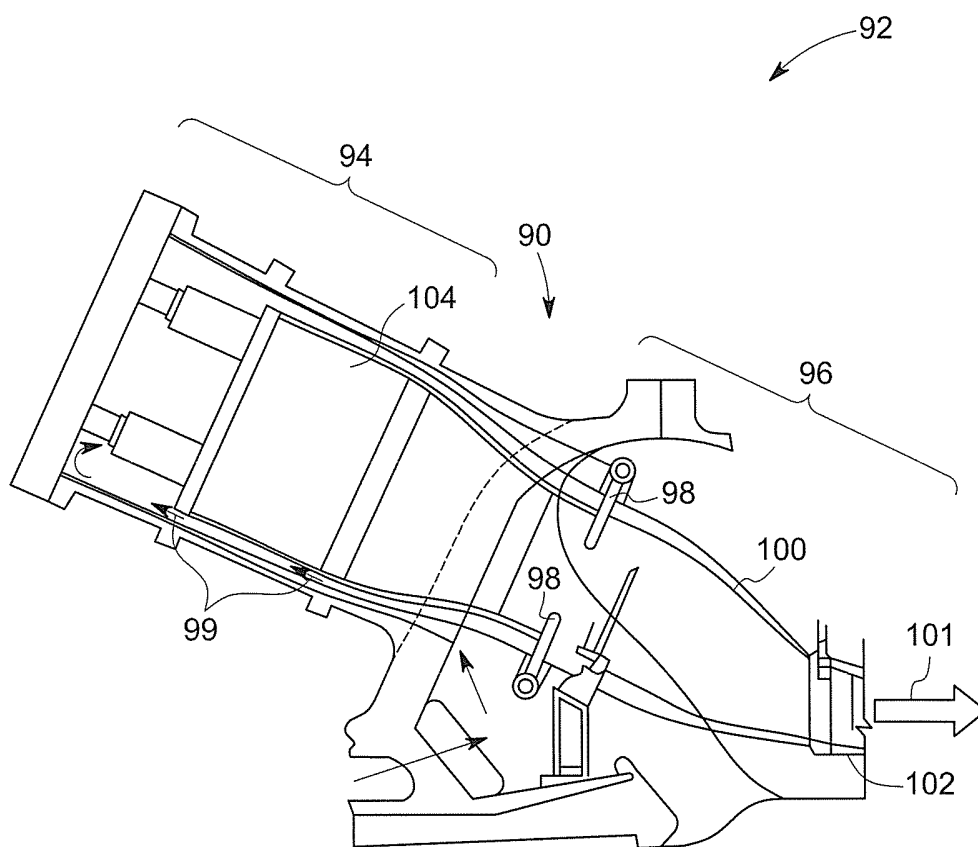


FIG. 6