

SCHWEIZERISCHE EidGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

708 252 A2

(51) Int. Cl.: F02C 7/18 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 00974/14

(71) Anmelder:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(22) Anmeldedatum: 26.06.2014

(72) Erfinder:
Narendra Digamber Joshi, Niskayuna, NY 12309 (US)
Joel Meier Haynes, Niskayuna, NY 12309 (US)
Venkat Eswarlu Tangirala, Niskayuna, NY 12309 (US)
Christian Lee Vandervort, Niskayuna, NY 12309 (US)

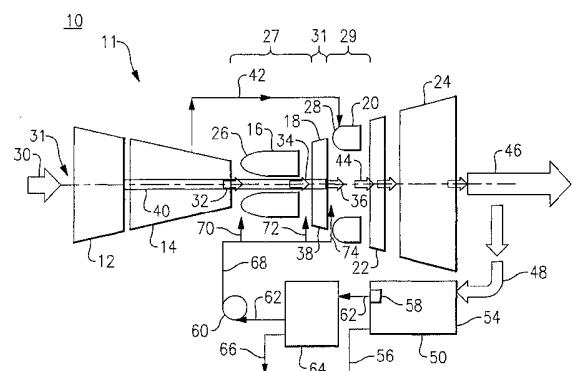
(43) Anmeldung veröffentlicht: 31.12.2014

(74) Vertreter:
R.A. Egli & Co, Patentanwälte, Baarerstrasse 14
6300 Zug (CH)

(30) Priorität: 28.06.2013 US 13/930,122

(54) Gasturbinensystem und Verfahren zum Betreiben desselben.

(57) Es sind ein Turbinensystem (10) und ein Betriebsverfahren geschaffen. Das System (10) enthält einen Verdichter (12, 14), der zum Erzeugen eines verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms (32) eingerichtet ist, und eine Brennkammer (16), die zur Aufnahme des verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms (32) und zum Verbrennen eines Brennstoffstroms zum Erzeugen eines Nachverbrennungsgasstroms (34) eingerichtet ist. Das Turbinensystem (10) enthält ferner eine Turbine (18) zur Aufnahme des Nachverbrennungsgasstroms (34) zum Erzeugen von Leistung und eines NOx-armen Abgasstroms (36), ein Wärmerückgewinnungssystem (50), das zur Aufnahme des NOx-armen Abgasstroms (36) und zum Erzeugen eines abgekühlten Gasstroms (62) eingerichtet ist, und einen Hilfsverdichter (60), der zum Erzeugen eines sauerstoff- und wasser dampfarmen abgekühlten und verdichteten Luftstroms (68) eingerichtet ist. Ein Teil des sauerstoff- und wasser dampfarmen abgekühlten und verdichteten Luftstroms (68) wird der Brennkammer (16) zum Erzeugen eines sauerstoff- und H₂O-armen Films auf exponierten Abschnitten der Brennkammer (16) zugeführt, und ein anderer Teil wird der Turbine (18) zur Bereitstellung einer Kühlströmung zugeführt.



Beschreibung

Hintergrund zu der Erfindung

[0001] Die Offenbarung betrifft allgemein Gasturbinenturbinensysteme und insbesondere eine Fettbetrieb-Brennkammer für eine Gasturbine.

[0002] Kohlenwasserstoff-Brennstoff verbrennende Prozesse werden in grossem Umfang bei stationären Energieerzeugungs-Gasturbinensystemen eingesetzt. Es ist erforderlich, dass Verbrennungsnebenprodukte, welche die Atmosphäre verschmutzen, im Rahmen wachsender Bedenken bezüglich der Qualität der Erdatmosphäre minimiert werden. Daher ist es erforderlich, dass Brennkammern für stationäre Energieerzeugungs-Gasturbinensysteme geringe Mengen an Stickoxiden (NO , NO_2 , N_2O usw., welche gemeinsam als NO_x bezeichnet werden) und Kohlenmonoxid (CO) erzeugen. Derartige Emissionen können zu saurem Regen und anderen Umweltproblemen führen. Das NO_x kann sich aus Reaktionen mit atmosphärischem Stickstoff, wobei derartige Reaktionen als «thermisches» und «promptes» NO_x bezeichnet werden, oder mit an Brennstoff gebundenem Stickstoff (FBN - fuel bound nitrogen) ergeben. Gemäss der allgemein unterstützten Verbrennungstheorie röhrt das durch den «thermischen» Mechanismus erzeugte NO_x von atmosphärischem Stickstoff her, der durch die für die Flammen-initiierung und -ausbreitung verantwortlichen Radikalen gebunden wird.

[0003] Das Überwiegen von thermischem NO_x in herkömmlichen Brennkammern (ohne Vorvermischung von Brennstoff und Luft) aufgrund der hohen Temperaturen an den turbulenten Mischungsgrenzstellen hat zur Wasser- oder Dampfeinspritzung zur NO_x -Steuerung geführt. In dieser Methode absorbiert das eingespritzte Wasser oder der injizierte Dampf Wärme, senkt die Spitzentemperaturen (unter den NO_x -Bildungsschwellenwert) und reduziert somit NO_x -Emissionsniveau. Die niedrigeren Temperaturen haben den unerwünschten Nebeneffekt, dass sie CO-Verbrauchsreaktionen dämpfen, und somit steigen die CO-Gehalte an, und die Lebensdauer und der Wirkungsgrad der Brennkammer werden verringert. Somit ist die Wasser- oder Dampfeinspritztechnik für die NO_x -Steuerung nicht ideal.

[0004] Beschränkungen bei Kraftwerken geben vor, dass eine Stabilität, ein Leistungsreduktionsverhältnis (d.h., den Energiebedarfsverringerungen entsprechende Leistungsänderungen) und ein Wirkungsgrad ähnlich denen von derzeitigen Anlagen sind. NO_x -Steuerungstechniken ohne Wasser- oder Dampfeinspritzung werden als «trockene» Verbrennung bezeichnet. Zwei trockene NO_x -arme Verbrennungstechniken wurden bereits vorgeschlagen: (i) die Fett-Mager-Stufenverbrennung (ursprünglich zur Steuerung von thermischem und FBN- NO_x gedacht, aber aus nachstehend diskutierten Gründen nicht erfolgreich); und (ii) die (für die thermische NO_x -Steuerung vorgesehene) Magervormisch-verbrennung.

[0005] Bei der Fett-Mager-Stufenverbrennung wird die Brennkammer in eine erste Zone, welche fett ist (Äquivalenzverhältnis $\Phi \approx 1,3 - 1,8$; man beachte, dass $\Phi = 1$ für stöchiometrische Bedingungen, $\Phi > 1$ für fette und $\Phi < 1$ für magere Bedingungen gilt) und eine zweite Zone unterteilt, welche mager ist. Aufgrund der nicht-stöchiometrischen Bedingungen sind die Temperaturen in jeder Zone für NO_x zu niedrig (z.B. niedriger als 2780 °F, um sich über den «thermischen» Mechanismus auszubilden).

[0006] Jedoch erfolgt in gestuften Systemen nach dem Stand der Technik die Vermischung von Luft mit dem Ausfluss aus der fetten Zone mit begrenzten Raten, und sie kann die Ausbildung heißer nahezu stöchiometrischer Verwirbelungen nicht verhindern. Die begleitenden hohen Temperaturen führen zu der reichlichen Erzeugung von thermischem NO_x , welche bei Temperaturen über ca. 2780 °F ausgelöst wird. Dies war bisher die Erfahrung sowohl im Labor als auch bei Grossgasturbinenanlagen (der 100 MW Klasse). Jedoch sind Brennkammern mit fetter Verbrennung für Brennstoffe mit signifikantem Gehalt an Brennstoff gebundenem Stickstoff geeignet, da die zur Erzeugung von FBN- NO_x zur Verfügung stehende Sauerstoffmenge begrenzt ist.

[0007] Magervormisch-Brennkammern, welche nützlich sind, wenn der Brennstoff keinen Stickstoff enthält, werden mit einem mageren (vorverdampftem, falls Flüssigbrennstoff) vorvermischten Brennstoff/Luft-Strom bei $\Phi \approx 0,7$ mit Brennstoff versorgt. Die damit verbundenen Temperaturen sind gleichmäßig zu niedrig (z.B. niedriger als 2780 °F), um den thermischen NO_x -Mechanismus zu aktivieren. Dies ergibt einen niedrigeren Grenzwert für das minimale NO_x , das in derzeitigen mit Kohlenwasserstoff-Brennstoff betriebenen Brennkammern erzielbar ist.

[0008] Eine herkömmliche Gasturbine enthält einen Verdichter zum Verdichten von Luft (manchmal als ein Oxidans bezeichnet, da die Luft aufgrund der Anwesenheit von Sauerstoff oxidierende Fähigkeit hat), welche mit dem Brennstoff in einer Brennkammer vermischt wird, und das Gemisch wird verbrannt, um einen Hochdruck/Hochtemperatur-Gasstrom zu erzeugen, der als ein Nachverbrennungsgas bezeichnet wird. Das Nachverbrennungsgas wird in einer Turbine (Hochdruckturbine) expandiert, welche die thermische Energie aus dem Nachverbrennungsgas in mechanische Energie umwandelt, die eine Turbinenwelle zur Drehung bringt.

[0009] Während des Verbrennungsprozesses in einer Fettbetrieb-Brennkammer wird der Brennstoff in einer sauerstoffarmen Umgebung bei relativ niedriger Temperatur verbrannt. Das Hochtemperatur-Ausgabeprodukt aus der Brennkammer kann man durch eine Hochdruckturbine hindurch expandieren lassen, die Arbeit aus der Strömung entnimmt. Diese Arbeitsentnahme führt zu einer signifikanten Abkühlung der Strömung. Diese brennstoffreiche Strömung kann dann mit zusätzlicher Luft vermischt werden, um den unverbrannten Brennstoff in dem fetten Strömungsstrom in einer zweiten Brennkammer und insbesondere in einer Magerbetrieb-Brennkammer zu verbrauchen. Die zweite Verbrennung findet bei (für die thermische NO_x -Erzeugung) deutlich niedrigeren Temperaturen statt. Die Heissluftströmung aus der zweiten Brenn-

kammer lässt man in den stromabwärts angeordneten Turbinen unter Entnahme zusätzlicher Arbeit expandieren. In dieser Konfigurationsart wird die Erzeugung von NO_x aufgrund relativ kühler Temperaturen in den fetten und mageren Verbrennungszyklen minimiert, wobei die Temperaturen unter dem festgelegten Niveau für die Erzeugung von thermischem NO_x liegen. Promptes NO_x wird ebenfalls minimiert, da CO in den mageren Zyklen tendenziell vernachlässigbar ist. FBN-NO_x wird minimiert, da die Fettbetrieb-Brennkammer für die Erzeugung von NO_x mit zu wenig Sauerstoff betrieben wird. Zusätzliche Informationen bezüglich dieses NO_x-armen Verbrennungsprozesses ist in der gemeinsamen Patentinhaberin übereigneten U.S. Patentschrift Nr. RE 35,061 beschrieben, die für Sanjay M. Correa erteilt wurde, den Titel «Dry Low NO_x Hydrocarbon Combustion Apparatus» («Trockene NO_x-arme Kohlenwasserstoff-Verbrennungsvorrichtung») trägt und die hierin durch Verweis in ihrer Gesamtheit mit aufgenommen ist.

[0010] Durch Einbeziehung einer sekundären Magerbetrieb-Brennkammer wird das Nachverbrennungsgas nach Vermischung mit zusätzlichem Sauerstoff aus dem Verdichter nachverbrannt. Das nachverbrannte Nachverbrennungsgas wird in einem weiteren Turbinenabschnitt (der Niederdruckturbine) expandiert, um zusätzliche Leistung zu erzeugen. Die Verwendung der Magerbetrieb-Brennkammer und der Niederdruckturbine nutzt daher das Oxidierungspotential des Nachverbrennungsgases, wodurch der Wirkungsgrad der Maschine erhöht wird.

[0011] Im Bestreben, den Gasturbinenwirkungsgrad und die spezifische Arbeit weiter zu erhöhen, kann sich eine Erhöhung des Druckverhältnisses und der Brenntemperaturen ergeben. Diese Erhöhung des Druckverhältnisses und der Brenntemperaturen erfordert die Verwendung von Hochtemperaturmaterialien, wie z.B. Siliziumkarbid (SiC), in der Gasturbine. Während eines Hochtemperaturbetriebs (oberhalb von 4000 °F) bestehen Haltbarkeitsprobleme bezüglich chemischer Angriffe auf die SiC-Verbundmaterialbauteile, einschließlich, jedoch nicht darauf beschränkt, der Brennkammerflammmrohre, Kalotten und Turbinenschaufeln, durch Sauerstoff-(O)-Atome, Wasserstoff (H₂), Wasserstoffoxid-(OH)-Radikale und Wasser (H₂O)-Moleküle. Umgebungsschutzbeschichtungen können eingesetzt werden, um diese chemischen Angriffe, wie z.B. Wasserdampfangriffe auf die SiC-Komponenten, zu minimieren. Diese Beschichtungsmaterialien bieten ausreichenden Schutz für die SiC-Komponenten, solange sie nicht durch Verkratzen oder dergleichen beschädigt oder verschlechtert sind. Demzufolge ist während eines Hochtemperaturbetriebs die Erhöhung der Brenntemperatur durch Materialfähigkeiten und die NO_x-Emissionen begrenzt.

[0012] Demzufolge ist es erwünscht, eine verbesserte Gasturbine bereitzustellen, die in der Lage ist, bei höheren Temperaturen zu arbeiten.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0013] Diese und weitere Unzulänglichkeiten des Stands der Technik werden durch die vorliegende Offenbarung angesprochen, welche eine Gasturbine und ein Verfahren zum Betreiben der einer Gasturbine bereitstellt.

[0014] Ein Aspekt der vorliegenden Offenbarung beruht auf einem Turbinensystem, das aufweist: einen Verdichter, der zur Erzeugung eines verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms eingerichtet ist; eine Brennkammer, die zur Aufnahme des verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms aus dem Verdichter und zur Verbrennung eines Brennstoffstroms zum Erzeugen eines Nachverbrennungsgasstroms eingerichtet ist; eine Turbine zur Aufnahme des Nachverbrennungsgasstroms aus der Brennkammer zum Erzeugen von Energie und eines NO_x-armen Abgasstroms; ein Wärmerückgewinnungssystem, das zur Aufnahme des NO_x-armen Abgasstroms aus der Turbine zum Erzeugen eines abgekühlten Gasstroms eingerichtet ist; und einen Hilfsverdichter, der zur Aufnahme wenigstens eines Teils des abgekühlten Gasstroms aus dem Wärmerückgewinnungssystem zum Erzeugen eines sauerstoff- und wasserdampfarmen abgekühlten und verdichteten Gasstroms eingerichtet ist. Ein Teil des sauerstoff- und wasserdampfarmen abgekühlten und verdichteten Gasstroms wird der Brennkammer zum Erzeugen eines sauerstoff- und H₂O-armen Films auf exponierten Abschnitten der Brennkammer zugeführt. Zusätzlich wird ein Teil des sauerstoff- und wasserdampfarmen abgekühlten und verdichteten Gasstroms der Turbine zugeführt, um eine Kühlströmung bereitzustellen.

[0015] In dem zuvor erwähnten Turbinensystem kann die Brennkammer eine Fettbetrieb-Brennkammer sein, die dafür eingerichtet ist, eine brennstoffreiche Verbrennung des Brennstoffstroms zu ermöglichen.

[0016] Das Turbinensystem des zuvor erwähnten Typs kann ferner wenigstens eine zusätzliche Brennkammer, die zur Aufnahme des NO_x-armen Abgasstroms aus der Turbine und zum Verbrennen eines Brennstoffstroms zum Erzeugen eines Nachverbrennungsgasstroms eingerichtet ist, und wenigstens eine zusätzliche Turbine zur Aufnahme des Nachverbrennungsgasstroms aus der wenigstens einen zusätzlichen Brennkammer aufweisen, um Energie und einen NO_x-armen Abgasstrom zu erzeugen.

[0017] Die wenigstens eine zusätzliche Brennkammer kann eine Magerbetrieb-Brennkammer sein, die dafür eingerichtet ist, eine Magerverbrennung des Brennstoffstroms zu ermöglichen.

[0018] Die Brennkammer und die wenigstens eine zusätzliche Brennkammer können dafür eingerichtet sein, den Brennstoffström in einem Fett-Quench-Mager(RQL - rich-quench-lean)-Verbrennungsmodus zu verbrennen.

[0019] In jedem beliebigen vorstehend erwähnten Verbrennungssystem kann das Wärmerückgewinnungssystem ein Abhitzedampferzeuger (HRSG) sein, der zur Aufnahme des NO_x-armen Abgasstroms aus der Turbine zur Erzeugung von Dampf und des abgekühlten Gasstroms eingerichtet ist.

[0020] Jedes beliebige vorstehend erwähnte Turbinensystem kann ferner ein Abgasrückführungsventil zum Steuern eines Durchflusses des abgekühlten Gasstroms aus dem Wärmerückgewinnungssystem zu dem Hilfsverdichter aufweisen.

[0021] In jedem beliebigen vorstehend erwähnten Turbinensystem kann ein Teil des abgekühlten Gasstroms aus dem Wärmerückgewinnungssystem einem Kohlendioxidabscheidungssystem zugeführt werden.

[0022] In jedem beliebigen vorstehend erwähnten Turbinensystem kann der sauerstoff- und wasserdampfarmen abgekühlte und verdichtete Gasstrom weniger als 13 Volumenprozent Sauerstoff enthalten.

[0023] In jedem beliebigen vorstehend erwähnten Turbinensystem kann ein Teil des NO_x-armen Abgasstroms zu dem Verdichter wieder zurückgeführt werden, um den verdichteten NO_x-armen Luftstrom zu erzeugen.

[0024] In jedem beliebigen vorstehend erwähnten Turbinensystem kann das NO_x-arme Abgas einen NO_x-Gehalt von weniger als ca. 30 ppm enthalten.

[0025] Das NO_x-arme Abgas einen NO_x-Gehalt von weniger als ca. 5 ppm enthalten.

[0026] In jedem beliebigen vorstehend erwähnten Turbinensystem kann der sauerstoff- und H₂O-arme Film auf exponierten Abschnitten der Brennkammerauskleidung, der Brennkammerkalotte und der Turbinenspülkammern erzeugt werden.

[0027] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Offenbarung beruht auf einem Turbinensystem, das aufweist: einen Verdichter, der zum Verdichten von Umgebungsluft und wenigstens eines Teils eines NO_x-armen Abgasstroms eingerichtet ist, um einen verdichteten sauerstoffarmen Luftstrom zu erzeugen; eine Brennkammer, die zur Aufnahme des verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms aus dem Verdichter und zum Verbrennen eines Brennstoffstroms in einem Fett-Quench-Mager(RQL)-Verbrennungsmodus zum Erzeugen eines Nachverbrennungsgasstroms eingerichtet ist; eine Turbine zur Aufnahme des Nachverbrennungsgasstroms aus der Brennkammer zum Erzeugen von Elektrizität und des NO_x-armen Abgasstroms; ein Wärmerückgewinnungssystem, das zur Aufnahme eines Teils des NO_x-armen Abgasstroms aus der Turbine zum Erzeugen eines abgekühlten Gasstroms eingerichtet ist; und einen Hilfsverdichter, der zur Aufnahme wenigstens eines Teils des abgekühlten Gasstroms aus dem Wärmerückgewinnungssystem zum Erzeugen eines Sauerstoff- und wasserdampfarmen abgekühlten und verdichteten Gasstroms eingerichtet ist. Ein Teil des sauerstoff- und wasserdampf-armen abgekühlten und verdichteten Gasstroms wird der Brennkammer zum Erzeugen eines sauerstoff- und H₂O-armen Films auf exponierten Abschnitten der Brennkammer zugeführt. Zusätzlich wird ein Teil des sauerstoff- und wasserdampf-armen abgekühlten und verdichteten Gasstroms der Turbine zur Bereitstellung einer Kühlströmung zugeführt.

[0028] Bevorzugte Ausführungsformen des Turbinensystems gemäss dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung entsprechen im Wesentlichen denjenigen gemäss dem ersten Aspekte und beinhalten insbesondere die folgenden:

[0029] Das Wärmerückgewinnungssystem kann ein Abhitzedampferzeuger (HRSG) sein, der dafür eingerichtet ist, den NO_x-armen Abgasstrom aus der Turbine zum Erzeugen von Dampf aufzunehmen.

[0030] Das Turbinensystem kann ferner ein Kohlendioxidabscheidungssystem aufweisen, wobei ein Teil des abgekühlten Gasstroms aus dem Wärmerückgewinnungssystem dem Kohlendioxidabscheidungssystem zugeführt wird.

[0031] Der verdichtete sauerstoffarme Luftstrom kann weniger als 13 Volumenprozent Sauerstoff enthalten.

[0032] Der NO_x-arme Abgasstrom kann einen NO_x-Gehalt von weniger als ca. 30 ppm enthalten.

[0033] Die Brennkammer kann eine fette Zone aufweisen, um eine brennstoffreiche Verbrennung des Brennstoffstroms zu ermöglichen; eine Quenchzone, die dafür eingerichtet ist, eine Umwandlung der brennstoffreichen Verbrennung in eine brennstoffmagere Verbrennung des Brennstoffstroms zu ermöglichen; und eine Magerzone, die dafür eingerichtet ist, eine Brennstoffmagerverbrennung des Brennstoffstroms zu ermöglichen.

[0034] Noch ein weiterer Aspekt der Offenbarung beruht auf einem Verfahren zum Betreiben eines Turbinensystems mit den Schritten:

Erzeugen eines verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms in einem Verdichter;

Verbrennen des verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms mit einem Brennstoffström in einer Brennkammer zum Erzeugen eines Nachverbrennungsgases;

Expandieren des Nachverbrennungsgases in einer Turbine zum Erzeugen eines NO_x-armen Abgases;

Kühlen des NO_x-armen Abgases in einem Wärmerückgewinnungssystem zum Erzeugen eines abgekühlten Gasstroms;

Verdichten eines Teils des abgekühlten Gasstroms in einem Hilfsverdichter zum Erzeugen eines sauerstoff- und wasserdampfarmen abgekühlten und verdichteten Gasstroms; Injizieren des sauerstoff- und wasserdampfarmen abgekühlten und verdichteten Gasstroms in die Brennkammer und die Turbine zur Schaffung einer Kühlströmung;

und Zurückführen eines weiteren Teils des abgekühlten Luftstroms zu einem Einlass des Verdichters zum Erzeugen des verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms.

[0035] Das zuvor erwähnte Verfahren kann ferner den Schritt der Rückführung eines weiteren Teils des abgekühlten Luftstroms zu einem Einlass des Verdichters zum Erzeugen des verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms aufweisen.

[0036] Jedes beliebige vorstehend erwähnte Verfahren kann den Schritt der Verbrennung des sauerstoffarmen Luftstroms in einem Fett-Quench-Mager(RQL)-Verbrennungsmodus beinhalten.

[0037] Jedes beliebige vorstehend erwähnte Verfahren kann ferner den Schritt der Leitung eines Teils des abgekühlten Luftstroms zu einem Kohlendioxidabscheidungssystem aufweisen.

[0038] Verschiedene Verfeinerungen der vorstehend erwähnten Merkmale liegen in Bezug auf die verschiedenen Aspekte der vorliegenden Offenbarung vor. Weitere Merkmale können auch in diesen verschiedenen Aspekten enthalten sein. Diese Verfeinerungen und zusätzlichen Merkmale können einzeln oder in jeder beliebigen Kombination vorliegen. Beispielsweise können verschiedene in Bezugnahme auf eine oder mehrere von den dargestellten Ausführungsformen diskutierte Merkmale in jedem von den vorstehend beschriebenen Aspekten der vorliegenden Offenbarung alleine oder in beliebiger Kombination enthalten sein. Die vorstehend präsentierte Kurzzusammenfassung soll wiederum nur den Leser mit bestimmten Aspekten und Zusammenhängen der vorliegenden Offenbarung ohne Einschränkung des beanspruchten Erfindungsgegenstandes vertraut machen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0039] Die vorstehenden und weitere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Offenbarung werden besser verständlich, wenn die nachstehende detaillierte Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen gelesen wird, in welchen gleiche Bezugszeichen durchgängig durch die Zeichnungen gleiche Teile repräsentieren, in welchen:

[0040] Fig. 1 schematisch ein Gasturbinensystem gemäß einer oder mehreren hierin dargestellten oder beschriebenen Ausführungsformen veranschaulicht;

[0041] Fig. 2 schematisch eine exemplarische Anordnung eines Abschnittes des Gasturbinensystems von Fig. 1 gemäß einer oder mehreren hierin dargestellten oder beschriebenen Ausführungsformen veranschaulicht;

[0042] Fig. 3 schematisch eine alternative Ausführungsform eines Gasturbinensystems gemäß einer oder mehreren hierin dargestellten oder beschriebenen Ausführungsformen veranschaulicht;

[0043] Fig. 4 schematisch eine alternative Ausführungsform eines Gasturbinensystems gemäß einer oder mehreren hierin dargestellten oder beschriebenen Ausführungsformen veranschaulicht; und

[0044] Fig. 5 schematisch ein Verfahren zum Betreiben eines Gasturbinensystems gemäß einer oder mehreren hierin dargestellten oder beschriebenen Ausführungsformen veranschaulicht.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0045] Die Offenbarung wird für Zwecke der Veranschaulichung nur in Verbindung mit bestimmten Ausführungsformen beschrieben;

es dürfte sich dabei verstehen, dass weitere Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Offenbarung durch die nachstehende Beschreibung der Zeichnungen gemäß der Offenbarung ersichtlich werden. Obwohl bevorzugte Ausführungsformen offenbart sind, sollen sie nicht einschränkend sein. Stattdessen werden die hierin dargestellten allgemeinen Prinzipien als lediglich den Schutzmfang der vorliegenden Erfindung veranschaulichend betrachtet und es versteht sich ferner, dass zahlreiche Änderungen vorgenommen werden können, ohne von dem Schutzmfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

[0046] Die Begriffe «erst...», «zweit...» und dergleichen hierin, bedeuten keine Reihenfolge, Menge oder Wichtigkeit, sondern werden lediglich dazu genutzt, ein Element von einem anderen zu unterscheiden. Die Begriffe «ein» und «eine» bedeuten keine Mengenbeschränkung, sondern bedeuten das Vorliegen von wenigstens einem von dem angesprochenen Element. Der in Verbindung mit einer Menge genutzte Modifikator «ca.» bzw. «etwa» schließt den angegebenen Wert ein und hat die von dem Kontext vorgegebene Bedeutung (beinhaltet beispielsweise den Grad des Fehlers in Verbindung mit der Messung einer bestimmten Menge). Zusätzlich sind die Begriffe «erst...», «zweit...» und dergleichen für den Zweck der Orientierung des Lesers bezüglich spezifischer Komponententeile gedacht.

[0047] Ferner soll in dieser Beschreibung das Suffix «(en)» üblicherweise sowohl die Singular- als auch Pluraform des Begriffes, den es modifiziert, beinhalten und dadurch einen oder mehrere von diesem Begriff beinhalten (beispielsweise kann «der/die Strahl(en)» einen oder mehrere Strahlen beinhalten). Eine Bezugnahme in der gesamten Beschreibung auf «eine erste Ausführungsform», eine «weitere Ausführungsform», «eine Ausführungsform» usw. bedeutet, dass ein in Verbindung der Ausführungsform beschriebenes spezielles Element (z.B. Merkmal, Struktur und/oder Eigenschaft) in wenigstens einer hierin beschriebenen Ausführungsform enthalten ist und in anderen Ausführungsformen vorhanden sein kann oder nicht. Ebenso bedeutet eine Bezugnahme auf «eine spezielle Konfiguration», dass ein in Verbindung mit der Konfiguration beschriebenes spezielles Element (z.B. Merkmal, Struktur und/oder Eigenschaft) in wenigstens einer hierin beschriebenen Konfiguration enthalten ist und in anderen Konfigurationen vorhanden sein kann oder nicht. Zusätzlich dürfte es sich verstehen, dass die beschriebenen erfindungsgemäßen Merkmale in den verschiedenen Ausführungsformen und Konfigurationen in jeder beliebigen geeigneten Weise miteinander kombiniert sein können.

[0048] Wie nachstehend detailliert erläutert, stellen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung ein Gasturbinensystem mit einer Fettbetrieb-Brennkammer und ein Verfahren zum Betreiben der Fettbetrieb-Brennkammer eines Gasturbinensystems bereit, das sich mit dem Bedarf an keramischen Materialien mit höherer Temperaturbeständigkeit sowie Emissionsfähigkeiten befasst. Diese Offenbarung kann jedoch in vielen unterschiedlichen Formen verkörpert werden und

soll nicht als auf die hierin dargestellten Ausführungsformen beschränkt betrachtet werden; stattdessen werden diese Ausführungsformen so bereitgestellt, dass diese Offenbarung genau und vollständig ist und vollständig den Schutzmfang der Offenbarung für den Fachmann abdeckt.

[0049] Wie nachstehend im Detail erläutert, haben Ausführungsformen des vorliegenden Systems und Verfahrens die Funktion, Emissionen in Turbinensystemen zu reduzieren und Verbrennungstechnologien zur Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades der Turbinensysteme bereitzustellen, während gleichzeitig die NO_x-Bildung reduziert wird. In einigen von den spezifischen Ausführungsformen beinhaltet die vorliegende Technik die Verwendung einer Abgasrückführung (EGR) zusammen mit einem Fett-Quench-Mager(RQL)-Verbrennungsmodus, um Emissionen, wie z.B. NO_x zu minimieren.

[0050] Bezugnehmend auf Fig. 1 sind ein Gasturbinensystem 10 und insbesondere eine Gasturbine 11 gemäss einer Ausführungsform der Offenbarung dargestellt. Fig. 1 veranschaulicht in Strömungsverbindung einen Niederdruckverdichter 12, einen Hochdruckverdichter 14, eine erste Brennkammer 16, eine erste Turbine 18, eine zweite Brennkammer 20, eine zweite Turbine 22 und eine Leistungsturbine 24. In einer Ausführungsform ist die erste Brennkammer 16 eine Fettbetrieb-Brennkammer 26, die eine fette Zone 27 definiert, und die zweite Brennkammer 18 ist eine Magerbetrieb-Brennkammer 28, die eine magere Zone 29 definiert, und wobei eine Quenchzone 31 dazwischen ausgebildet ist. Die fette Zone 27 ist dafür eingerichtet, eine (derzeit beschriebene) brennstoffreiche Verbrennung eines Brennstoffstroms zu ermöglichen. Die Quenchzone 31 ist dafür eingerichtet, eine Umwandlung der brennstoffreichen Verbrennung in eine brennstoffmagere Verbrennung des Brennstoffstroms zu ermöglichen. Die magere Zone 29 ist dafür eingerichtet, die brennstoffmagere Verbrennung des Brennstoffstroms zu ermöglichen.

[0051] Ein atmosphärische Luft aufweisender Luftstrom 30 wird in den Niederdruckverdichter 12 und den Hochdruckverdichter 14 an einem Einlass 31 zur Verdichtung auf die gewünschte Temperatur und Druck eingeführt. In einer vorliegend beschriebenen alternativen Ausführungsform kann zusätzlich zu dem Luftstrom 30 ein Teil eines NO_x-armen Abgasstroms zu dem Einlass 31 des Verdichters 12 zurückgeführt werden. Nach der Verdichtung verlässt der Luftstrom 30 den Hochdruckverdichter 14 als ein heiss verbrennender, brennstoffreicher verdichteter sauerstoffarmer Luftstrom 32 und wird mit einem (nicht dargestellten) Brennstoffstrom in der ersten Brennkammer 16 und insbesondere in der Fettbetrieb-Brennkammer 26 vermischt. Das Gemisch wird in der Fettbetrieb-Brennkammer 26 gezündet (verbrannt), was zu einem Hochtemperatur/Hochdruck-Strom eines Nachverbrennungsgasstroms 34 führt.

[0052] 100 % des Brennstoffs werden der ersten Brennkammer 16 zugeführt, welche diesen Brennstoff in einem fetten Verbrennungsgemisch mit einer über die Verdichter 12 und 14 zugeführten relativ geringen Luftmenge verbrennt. In dieser exemplarischen Ausführungsform wird der Luftstrom 30 unter Verwendung des Niederdruckverdichters 12 und des Hochdruckverdichters 14 verdichtet und der Brennkammer 16 zur Verbrennung des Brennstoffstroms zum Erzeugen des NO_x-armen Hochdruckstroms eines Nachverbrennungsgases 34 zugeführt. Insbesondere ermöglicht die Verbrennung des verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms 32 eine Reduzierung der Flammtemperatur, was dadurch zu einer NO_x-Verringerung führt. Zusätzlich ermöglicht die Verbrennung des Brennstoffstroms mit dem verdichteten sauerstoffarmen Luftstrom 32 eine brennstoffreiche Verbrennung, die zu weiterer NO_x-Verringerung führt.

[0053] So wie hierin verwendet, bezieht sich der Begriff «brennstoffreiche Verbrennung» auf die Verbrennung des Brennstoffstroms und des verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms 32, wobei ein Äquivalenzverhältnis (ER) oder ein Brennstoff/Oxidationsmittel-Verhältnis ungefähr 2,5 bis 3 beträgt. Beispielsweise kann die der ersten Brennkammer 16 zugeführte Luftmenge 10 % der der zweiten Brennkammer 20 aus dem Verdichter 12 und 14 über eine Leitung 42 zugeführten Luft betragen. Die Verbrennungsprodukte werden an die zweite Brennkammer 20 bei einer relativ heissen Temperatur, aber unterhalb von ca. 2780 °F zugeführt, bei welcher thermisches NO_x erzeugt wird. Aufgrund der fetten Verbrennung steht wenig Sauerstoff für den Verbrennungsprozess in der Brennkammer 20 zur Verfügung und deren Temperatur überschreitet nicht die Schwellentemperatur, bei welcher thermisches NO_x erzeugt wird. Die relativ fetten Eigenschaften des Verbrennungsprozesses erzeugen wenig O₂, OH und andere oxidierende Radikale in dem Verbrennungsprozess, was promptes NO_x minimiert. Der fette Verbrennungsprozess begünstigt auch eine Reformierungsschemie, d.h., er hat die Tendenz, die Erzeugung von Kohlenwasserstoff(CH)-Gasprodukten zu vermeiden; stattdessen erzeugt er Gasprodukte, die hauptsächlich CO und H₂ aufweisen. Das Gemisch aus CO und H₂ wird üblicherweise als Synthesegas oder synthetisches Gas bezeichnet. Die FBN-Spezies werden, falls vorhanden, zu N₂ (molekularem Stickstoff) umgewandelt.

[0054] Der Nachverbrennungsgasstrom 34 wird in der ersten Turbine 18 expandiert, um die dem Nachverbrennungsgasstrom 34 zugeordnete thermische Energie in mechanische Energie umzuwandeln, und verlässt die erste Turbine 18 als ein expandierter Verbrennungsgasstrom 36. Die erste Turbine 18 ist dafür eingerichtet, den Nachverbrennungsgasstrom 34 zu expandieren, um eine externe Last, wie z.B. einen (nicht dargestellten) Generator oder dergleichen zum Erzeugen von Elektrizität, anzutreiben. In der dargestellten Ausführungsform werden der Niederdruckverdichter 12 und/oder der Hochdruckverdichter 14 durch die durch die erste Turbine 18 erzeugte Kraft über eine Welle 40 angetrieben. In einer spezifischen Ausführungsform ist die erste Turbine 18 eine Hochdruckturbine 38.

[0055] Dem expandierten Verbrennungsgasstrom 36 ist eine bestimmte Menge von ungenutztem erhitztem Sauerstoff (ca. 15 bis 18 Massenprozent) zugeordnet. Anstelle der Freisetzung des expandierten Verbrennungsgasstroms 36 an die Atmosphäre nutzt das Gasturbinensystem 10 die zweite Brennkammer 20 und die zweite Turbine 22 zum Erzeugen zusätzlicher Leistung. Diese Arbeitseinnahme führt zu einer signifikanten Abkühlung des expandierten Verbrennungsgasstroms 36.

[0056] Die abgekühlte brennstoffreiche Strömung, und insbesondere das abgekühlte expandierte Verbrennungsgas 36, wird anschliessend mit der zusätzlichen verdichteten Luft über die Leitung 42 vermischt, um den unverbrannten Brennstoff in dem fetten Durchflusstrom in der zweiten Brennkammer 20, und insbesondere in der Magerbetrieb-Brennkammer 28, zu verbrennen. Die zweite Verbrennung findet in der Magerbetrieb-Brennkammer 28 bei einer (für die thermische NO_x-Erzeugung) signifikant niedrigeren Temperatur statt. Der Heissluftströmung aus der zweiten Brennkammer 20 in der Form eines Nachverbrennungsgasstroms 44 wird eine Expansion in der einen oder mehreren stromabwärts befindlichen Turbinen 22 und 24 ermöglicht, und sie tritt als ein expandierter NO_x-armer Abgasstrom 46 aus und ermöglicht eine Entnahme zusätzlicher Arbeit. In einer exemplarischen Ausführungsform enthält der NO_x-arme Abgasstrom 46 einen NO_x-Gehalt von weniger als etwa 30 ppm. In bestimmten Ausführungsformen enthält der NO_x-arme Abgasstrom 36 einen NO_x-Gehalt von weniger als etwa 5 ppm. Somit findet in der offbarten Ausführungsform eine Wärmezufuhr sowohl in der ersten Brennkammer 16 als auch in der zweiten Brennkammer 18 bei niedrigeren Temperaturen statt, was die Bildung von NO_x verhindert, während es gleichzeitig sehr hohe thermische Wirkungsgrade ermöglicht.

[0057] In einem zweiten Aspekt des Systems wird ein Teil 48 des vollständig expandierten NO_x-armen Abgasstroms 46 einem Wärmerückgewinnungssystem 50 und einem Hilfsverdichter 60 zugeführt. Die Temperatur des Teils 48 des vollständig expandierten NO_x-armen Abgasstroms 46 wird in dem Wärmerückgewinnungssystem 50 weiter abgesenkt. In einer Ausführungsform ist das Wärmerückgewinnungssystem ein Abhitzedampferzeuger (HRSG) 54, der dafür eingerichtet ist, den vollständig expandierten NO_x-armen Abgasstrom 46 aus der Arbeitsturbine 24 zum Erzeugen von Dampf 56 und eines abgekühlten Gasstroms 62 aufzunehmen. Das Gasturbinensystem 10 kann eine (nicht dargestellte) zusätzliche Turbine, wie z.B. eine Dampfturbine, enthalten, um zusätzliche Elektrizität über einen (nicht dargestellten) Generator unter Verwendung des Dampfes 56 aus dem HRSG 50 zu erzeugen. In der dargestellten Ausführungsform kann das Gasturbinensystem 10 ferner ein Abgasrückführungs(EGR)-Ventil 58 zum Steuern eines Durchflusses des abgekühlten Gasstroms 62 des Abgases 46 aus dem HRSG 50 zu dem Hilfsverdichter 60 und einen CO₂-Strom 66 erzeugende Kohlenstoffdioxid (CO₂) -Abscheidungseinheit 64 enthalten.

[0058] Der abgekühlte Gasstrom 62 wird in dem Hilfsverdichter 60 auf geeignete Bedingungen zur Verwendung in der Fettbetrieb-Brennkammer 26 verdichtet. Insbesondere wird der abgekühlte Gasstrom 62 in dem Hilfsverdichter 60 zum Erzeugen eines sauerstoff- und wasserdampfarmen abgekühlten und verdichteten Gasstroms 68 verdichtet. Gemäss Darstellung wird der abgekühlte unter Druck gesetzte Anteil des Abgasstroms 46 als der sauerstoff- und wasserdampfarmen abgekühlte und verdichtete Gasstrom 68 in die Fettbetrieb-Brennkammer 26 als ein kühler verdichteter Luftstrom 70 und in die Turbine 18 als ein Vorderkammer-Spülstrom 72 und als ein Hinterkammer-Spülstrom 74 injiziert. Aufgrund des Umstandes, dass der Grossteil des Sauerstoffs in dem Verbrennungsprozess genutzt wird, ist dieser abgekühlte und verdichtete Anteil des Abgasstroms 46 sauerstoffarm und trocken (keine Feuchtigkeit). Demzufolge wird der sauerstoff- und wasserdampfarmen abgekühlte und verdichtete Gasstrom 68 zur Ausbildung eines (derzeit beschriebenen) inerten Films zum Schützen der Brennkammern 16 und/oder 20 und von Komponenten der Turbine 18 gegenüber einem Angriff durch Sauerstoff und Wasserdampf in der Luft verwendet. Dies verringert die Notwendigkeit von Umgebungsschutzbeschichtungen auf den Hochtemperaturkomponenten, wie z.B. den vorstehend erwähnten SiC-Komponenten.

[0059] Insbesondere ist bezugnehmend auf Fig. 2 ein Abschnitt des Gasturbinensystems 10 von Fig. 1 veranschaulicht, der detaillierter die erste Brennkammer 16 und insbesondere die Fettbetrieb-Brennkammer 26, die zweite Brennkammer 20 und insbesondere die Magerbetrieb-Brennkammer 28 und die Rückführung des Abgasstroms und insbesondere des NO_x-armen Abgasstroms 46 durch diese hindurch veranschaulicht. Gemäss der Darstellung enthält die erste Brennkammer 16 eine Brennstoffdüse 76 in Strömungsverbindung mit der Brennkammer 16 und welche für die Eingabe eines Brennstoffes 18 sorgt. Die Brennkammer 18 enthält ferner eine Kalotte 80, eine Brennkammerinnenbekleidung 82, eine äussere Brennkammerauskleidung 84 und eine Brennkammerschale 86 mit einem zwischen der Brennkammerschale 86 und der äusseren Ausbekleidung 84 definierten Brennkammerhohlraum 88. Während einer Verbrennung wird der sauerstoffarme Luftstrom 32 mit dem Brennstoffström 78 in einem fett verbrennenden, schnell vermischtenden, mager verbrennenden (RQL) Verbrennungsmodus in den Brennkammern 16 und 20 verbrannt.

[0060] Gemäss der Darstellung enthält die zweite Brennkammer 20 eine innere Brennkammerauskleidung 90, eine äussere Brennkammerauskleidung 92 und eine Brennkammerschale 94 mit einem zwischen der Brennkammerschale 94 und der Aussenauskleidung 92 definierten Brennkammerhohlraum 96. Ferner sind ein oder mehrere Verdünnungsluftstrahlen 98 und eine Turbinendüse 100 in Strömungsverbindung mit der stromabwärts befindlichen zweiten Turbine 22 (Fig. 1) enthalten.

[0061] Zwischen der ersten Brennkammer 16 und der zweiten Brennkammer 20 ist die erste Turbine 18, wie vorstehend unter Bezugnahme auf Fig. 1 beschrieben, angeordnet. In einer Ausführungsform steht die erste Turbine 18 mit der ersten Brennkammer 16 über eine Düse 102 in Strömungsverbindung. Die erste Turbine 18 enthält ferner einen Turbinenrotor 104, eine oder mehrere Turbinenschaufeln 106 und ein äusseres Turbinendeckband 108. Ferner sind eine vordere Kühlstromkammer 110 mit einer darin angeordneten Labyrinthdichtung 112 und eine hintere Spülkammer 114 enthalten.

[0062] Wie vorstehend angegeben, ist das Gasturbinensystem 10 dafür eingerichtet, eine Abgasrückführung bereitzustellen, um somit die Notwendigkeit von Umgebungsschutzbeschichtungen auf den Hochtemperatur-SiC-Komponenten, wie z.B. bei den zuvor erwähnten Brennkammerauskleidungen 82, 84, 90, 92, der Kalotte 80 und den Turbinenschaufeln 106 zu vermindern. Gemäss der Darstellung sorgt der zuvor erwähnte sauerstoff- und wasserdampf arme abgekühlte und

verdichtete Gasstrom 68 (Fig. 1) für die abgekühlten verdichteten Luftströme 70 zu der Fettbetrieb-Brennkammer 26 und für den Spülstrom 72 der vorderen Kammer und den Spülstrom 74 der hinteren Kammer der Turbine 18. Ferner sind eine Eingabe des, vorstehend beschrieben, verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms 32 und eine Eingabe eines zusätzlichen Luftstroms 116 in die Magerbetrieb-Brennkammer 28 über die Leitung 42 (Fig. 1) dargestellt.

[0063] Der abgekühlte verdichtete Abgasausfluss und insbesondere der kühle verdichtete Luftstrom 70, der aus dem sauerstoff- und wasser dampfarmen abgekühlten und verdichteten Gasstrom 68 besteht, wird verwendet, um einen sauerstoff- und H_2O -armen Film 118 auf den exponierten Abschnitten der Brennkammerauskleidung und insbesondere den Innenauskleidungen 82 und 90 und den Düsenteil 100, 102 niederzulegen.

[0064] Indem nun auf die Fig. 3 und 4 Bezug genommen wird, sind alternative Ausführungsformen eines Gasturbinensystems gemäss der Offenbarung dargestellt, wobei gleiche Elemente gleiche Bezugszeichen durchgängig durch die Ausführungsform haben. In Fig. 3 ist ein Gasturbinensystem 120 und insbesondere eine Gasturbine 121 dargestellt, die einen Niederdruckverdichter 12, einen Hochdruckverdichter 14, eine erste Brennkammer 16, eine erste Turbine 18, eine zweite Brennkammer 20, eine zweite Turbine 22 und eine Arbeitsturbine 24 enthält. In Fig. 4 ist ein Gasturbinensystem 130 und insbesondere eine Gasturbine 131 dargestellt, die einen Niederdruckverdichter 12, einen Hochdruckverdichter 14, eine Brennkammer 16, eine erste Turbine 18, eine zweite Turbine 22 und eine Arbeitsturbine 24 enthält. Wie in der zuvor beschriebenen Ausführungsform von Fig. 1 ist die Brennkammer 16 eine Fettbetrieb-Brennkammer 26, und die zweite Brennkammer 18 (Fig. 3) ist eine Magerbetrieb-Brennkammer 28. Ferner ist in jedem von den Systemen 120 und 130 ein Wärmerückgewinnungssystem 50 und ein Hilfsverdichter 60 enthalten. Das System 120 von Fig. 3 enthält ferner eine CO_2 -Abscheidungseinheit 64, wie vorstehend beschrieben.

[0065] Wie in der Ausführungsform von Fig. 3 dargestellt, wird der NO_x -arme Abgasstrom 46 nach der anfänglichen Abkühlung in dem Wärmerückgewinnungssystem 50 zur Erzeugung des abgekühlten Gasstroms 62 aufgeteilt, wobei ein erster Anteil 122 der CO_2 -Abscheidungseinheit 64 und dem Hilfsverdichter 60 zugeführt wird, um die Brennkammer 16 und die Turbine 18 wie vorstehend beschrieben zu kühlen. Ein zweiter Anteil 24 des NO_x -armen Abgasstroms 46 wird in den Einlass 31 des Gasturbinensystems 120 zusammen mit dem Luftstrom 30 (Fig. 1) zurückgeführt. Während der Rückführung des ersten Anteils 122 des NO_x -armen Abgasstroms 46 wird ein Teil 126 des die CO_2 -Abscheidungseinheit 64 verlassenden abgekühlten Abgasstroms 62 an die Atmosphäre ausgegeben.

[0066] Wie in einer alternativen Ausführungsform von Fig. 4 dargestellt, wird der NO_x -arme Abgasstrom 46 nach der anfänglichen Abkühlung in dem Wärmerückgewinnungssystem 50 zum Erzeugen des abgekühlten Abgasstroms 62 aufgeteilt, wobei ein erster Anteil 132 der CO_2 -Abscheidungseinheit 64 und dem Hilfsverdichter 60 zur Kühlung der Brennkammer 16 und der Turbine 18 wie vorstehend beschrieben zugeführt wird, ein zweiter Anteil 134 an die Atmosphäre ausgegeben wird und ein dritter Anteil 136 in den Einlass 31 der Gasturbine 130 zusammen mit dem Luftstrom 30 (Fig. 1) zurückgeführt wird. Ein (nicht dargestellter) Durchflussteiler kann zum Aufteilen der Anteile 132, 134 und 136 nach dem Verlassen des HRSGs 50 verwendet werden.

[0067] Es dürfte sich verstehen, dass, obwohl spezifische Konfigurationen für die Gasturbine hierin offenbart sind, diese Offenbarung jedoch in vielen unterschiedlichen Formen ausgeführt werden kann und nicht auf die hierin dargestellten Ausführungsformen beschränkt betrachtet werden sollte; stattdessen werden diese Ausführungsformen so bereitgestellt, dass diese Offenbarung genau und umfassend ist und den Schutzmfang der Offenbarung für den Fachmann vollständig übermittelt. Zusätzlich dürfte es sich verstehen, dass die beschriebenen erfindungsgemässen Merkmale in jeder geeigneten Weise in den verschiedenen Ausführungsformen und Konfigurationen kombiniert sein können.

[0068] Die offenbarten Maschinen- bzw. Anlagenkonfigurationen sehen eine Rückführung eines Teils der Abgasströmung und insbesondere des NO_x -armen Abgasstroms 46, welcher seinen Sauerstoff verbraucht hat und nun reich an CO_2 und H_2O (Wasserdampf) ist, zu einem Wärmerückgewinnungssystem 50 vor, wo die Temperatur des NO_x -armen Abgasstroms 46 verringert wird. Die Verringerung dieser Temperatur führt auch zu einer Kondensation von (während der Verbrennung gebildetem) Wasserdampf. Der sauerstoffarme abgekühlte Strom und insbesondere der abgekühlte Gasstrom 62 werden dann in dem Hilfsverdichter 60 auf einen geeigneten Druck verdichtet. Dieser sauerstoff- und wasser-dampfarmen abgekühlte und verdichtete Gasstrom 68 wird dann zum Aufbau einer sauerstoff- und wasser dampfarmen Barriere oder eines Films 118 zwischen dem heiss verbrennenden mit Brennstoff angereicherten verdichteten sauerstoffarmen Luftstrom 32 in der Fettbetrieb-Brennkammer 26 und den auf Siliziumkarbid (SiC) basierenden Brennkammerauskleidungen 82, 90, der Kalotte 80 und den Turbinenschaufeln 106 verwendet. Dieses verringert die Notwendigkeit für Umgebungsschutzbeschichtungen, die zum Unterbinden von Wasserdampfangriffen auf das SiC-Bauteil benötigt werden. Demzufolge kann das SiC-Bauteil mit einer Oberflächentemperatur bis zu 3000 °F arbeiten, was es ermöglicht, dass die Turbineneinlass-temperatur der Hochdruckturbine 18 leicht 4000 °F überschreitet. Der sauerstoff- und wasser dampfarmen abgekühlte und verdichtete Gasstrom 68 werden auch zum Aufbau eines Barrierefilms 118 für die SiC-Schaufeln 106 auf der Turbine 18 und zum Spülen der vorderen und hinteren Kammer 110, 114 verwendet.

[0069] Indem nun auf Fig. 5 Bezug genommen wird, ist ein Verfahren 140 zum Betreiben eines Turbinensystems gemäss einer hierin offenbarten Ausführungsform dargestellt. In einem ersten Schritt 142 wird ein verdichteter sauerstoffarmer Luftstrom in einem Verdichter erzeugt. Der verdichtete sauerstoffarme Luftstrom wird mit einem Brennstoffstrom in einer Brennkammer zum Erzeugen eines Nachverbrennungsgases in einem Schritt 144 verbrannt. Das Nachverbrennungsgas wird in einem Schritt 146 in einer Turbine zum Erzeugen eines NO_x -armen Abgases expandiert. Das NO_x -arme Abgas wird

anschliessend in einem Schritt 148 in einem Wärmerückgewinnungssystem zum Erzeugen eines abgekühlten Gasstroms abgekühlt. Ein Teil des abgekühlten Gasstroms wird in einem Hilfsverdichter verdichtet, um einen sauerstoff- und wasser dampfarmen abgekühlten verdichteten Gasstrom in einem Schritt 150 zu erzeugen. Der sauerstoff- und wasser dampfarmen abgekühlte und verdichtete Gasstrom wird anschliessend in die Brennkammer und Turbine zur Bereitstellung eines Kühlstroms in einem Schritt 152 injiziert. In einer Ausführungsform wird ein weiterer Anteil des abgekühlten Luftstroms in einem Schritt 154 zu einem Einlass des Verdichters zum Erzeugen des verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms zurückgeführt. In einer Ausführungsform wird ein Anteil des abgekühlten Luftstroms einem Kohlenstoff dioxidabscheidungssystem in einem Schritt 156 zugeführt.

[0070] Demzufolge sieht das offenbare Verbrennungssystem die Auslegung einer Gasturbine mit geringer NO_x-Emission mit einer Fett- und Magerbetrieb-Brennkammer vor, die durch eine Arbeit entziehende Hochdruckturbine oder alternativ durch eine Fettbetrieb-Turbine gefolgt von einer Hochdruckturbine getrennt ist. Vorteilhafterweise ermöglicht die Technik der Einbeziehung einer Abgasrückführung in Kombination mit der RQL-Verbrennung eine erhebliche Verringerung einer NO_x-Bildung. Sie ermöglicht eine geringe NO_x-Erzeugung in dem Verbrennungssystem, während sie gleichzeitig ermöglicht, dass die Brenntemperatur der Gasturbine 4000 °F überschreiten kann. Das offenbare System bewältigt bestehende Haltbarkeitsprobleme durch chemische Angriffe auf SiC-Verbundstoffbauteile durch Sauerstoff(O)-Atome, Wasserstoff(H), Hydroxidionen(OH)-Radikale und Wasser(H₂O)-Moleküle durch Erzeugen einer Barriereströmung zwischen den heissen SiC-Komponenten und den heissen Verbrennungsgasen, welche wasserdampf- und sauerstoffarm ist.

[0071] Die offenbare Konfiguration ermöglicht die Auslegung und Entwicklung einer Gasturbine mit extrem hohem Schub/Gewicht. Der thermische Wirkungsgrad der Kernmaschine wird mit 3 bis 10 Prozent besser als der von Kernmaschinen nach dem Stand der Technik erwartet. Ebenso wird das Schub/Gewichts-Verhältnis dieser Technologie wesentlich verbessert.

[0072] Die verschiedenen Aspekte des hierin vorstehend beschriebenen Systems und Verfahrens sind in unterschiedlichen Anwendungen, wie z.B. als Kohlenstoffbindungs- und Abscheidungsanlagen, Gasturbinen mit niedrigen Emissionen und Kombisystemen mit integrierter Vergasung (IGCC) von Nutzen. Wie vorstehend erwähnt, nutzt die Technik die Abgasrückführung und den RQL-Verbrennungsmodus, um die NO_x-Erzeugung von derartigen Systemen erheblich zu verringern. Vorteilhafterweise verbessert die Technik den Gesamtwirkungsgrad des Turbinensystems und der Kohlenstoffbindungs- und -abscheidungsanlagen ohne entsprechend die thermische NO_x-Erzeugung zu steigern. Ferner beseitigt die Technik den Bedarf nach zusätzlichen Komponenten, wie z.B. einem katalytischen Reaktor zur Reduktion der NO_x-Mengen in bestehenden Turbinensystemen, und reduziert dadurch die Kosten derartiger Systeme.

[0073] Obwohl nur bestimmte Merkmale der Offenbarung hierin dargestellt und beschrieben wurden, werden viele Modifikationen und Änderungen für den Fachmann ersichtlich sein. Es dürfte sich daher verstehen, dass die beigefügten Ansprüche alle derartigen Modifikationen und Änderungen, soweit sie in den wahren Rahmen der Offenbarung fallen, abdecken sollen.

[0074] Es sind ein Turbinensystem und ein Betriebsverfahren geschaffen. Das System enthält einen Verdichter, der zum Erzeugen eines verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms eingerichtet ist, und eine Brennkammer, die zur Aufnahme des verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms und zum Verbrennen eines Brennstoffstroms zum Erzeugen eines Nachverbrennungsgasstroms eingerichtet ist. Das Turbinensystem enthält ferner eine Turbine zur Aufnahme des Nachverbrennungsgasstroms zum Erzeugen eines NO_x-armen Abgasstroms, ein Wärmerückgewinnungssystem, das zur Aufnahme des NO_x-armen Abgasstroms und zum Erzeugen eines abgekühlten Gasstroms eingerichtet ist, und einen Hilfsverdichter, der zum Erzeugen eines sauerstoff- und wasser dampfarmen abgekühlten und verdichteten Luftstroms eingerichtet ist. Ein Teil des sauerstoff- und wasser dampfarmen abgekühlten und verdichteten Luftstroms wird der Brennkammer zum Erzeugen eines sauerstoff- und H₂O-armen Films auf exponierten Abschnitten der Brennkammer zugeführt, und ein anderer Teil wird der Turbine zur Bereitstellung einer Kühlströmung zugeführt.

Patentansprüche

1. Turbinensystem (10), das aufweist:
einen Verdichter (12, 14), der zur Erzeugung eines verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms (32) eingerichtet ist;
eine Brennkammer (16), die zur Aufnahme des verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms (32) aus dem Verdichter (12, 14) und zum Verbrennen eines Brennstoffstroms (78) eingerichtet ist, um einen Nachverbrennungsgasstroms (34) zu erzeugen;
eine Turbine (18) zur Aufnahme des Nachverbrennungsgasstroms (34) aus der Brennkammer (16), um Leistung und einen NO_x-armen Abgasstrom (36) zu erzeugen;
ein Wärmerückgewinnungssystem (50), das zur Aufnahme des NO_x-armen Abgasstroms (36) aus der Turbine (18) zur Erzeugung eines abgekühlten Gasstroms (62) eingerichtet ist; und
einen Hilfsverdichter (60), der zur Aufnahme wenigstens eines Teils des abgekühlten Gasstroms (62) aus dem Wärmerückgewinnungssystem (50) zur Erzeugung eines sauerstoff- und wasser dampfarmen abgekühlten und verdichteten Gasstroms (68) eingerichtet ist;

CH 708 252 A2

wobei ein Teil (70) des sauerstoff- und wasserdampfarmen abgekühlten und verdichteten Gasstroms (68) der Brennkammer (16) zugeführt wird, um einen sauerstoff- und H₂O-armen Film (118) auf exponierten Abschnitten der Brennkammer (16) zu erzeugen, und

wobei ein Teil (72, 74) des sauerstoff- und wasserdampfarmen abgekühlten und verdichteten Gasstroms (68) der Turbine (18) zugeführt wird, um eine Kühlströmung bereitzustellen.

2. Turbinensystem (10) nach Anspruch 1, wobei die Brennkammer (16) eine Fettbetrieb-Brennkammer (26) ist, die eingerichtet ist, um eine brennstoffreiche Verbrennung des Brennstoffstroms (78) zu ermöglichen.
3. Turbinensystem (10) nach Anspruch 2, das ferner wenigstens eine zusätzliche Brennkammer (20), die zur Aufnahme des NO_x-armen Abgasstroms (36) aus der Turbine (18) und zur Verbrennung eines Brennstoffstroms (78) zum Erzeugen eines Nachverbrennungsgasstroms (44) eingerichtet ist, und wenigstens eine zusätzliche Turbine (22) zur Aufnahme des Nachverbrennungsgasstroms (44) aus der wenigstens einen zusätzlichen Brennkammer (20), um Leistung und einen NO_x-armen Abgasstrom (46) zu erzeugen, aufweist.
4. Turbinensystem (10) nach Anspruch 3, wobei die wenigstens eine zusätzliche Brennkammer (20) eine Magerbetrieb-Brennkammer (28) ist, die eingerichtet ist, um eine Magerverbrennung des Brennstoffstroms (78) zu ermöglichen.
5. Turbinensystem (10) nach Anspruch 3, wobei die Brennkammer (16) und die wenigstens eine zusätzliche Brennkammer (20) eingerichtet sind, den Brennstoffström (78) in einem Fett-Quench-Mager(RQL)-Verbrennungsmodus zu verbrennen.
6. Turbinensystem (10) nach einem beliebigen der vorstehenden Ansprüche, wobei der sauerstoff- und wasserdampfarme abgekühlte und verdichtete Gasstrom (68) weniger als ca. 13 Volumenprozente Sauerstoff enthält.
7. Turbinensystem (10) nach einem beliebigen der vorstehenden Ansprüche, wobei der sauerstoff- und H₂O-arme Film (118) auf exponierten Abschnitten der Brennkammerauskleidung (82, 90), der Brennkammerkalotte (80) und der Turbinenspülkammern (72, 74) erzeugt wird.
8. Verfahren (140) zum Betreiben eines Turbinensystems (10) mit den Schritten:
Erzeugen (142) eines verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms (32) in einem Verdichter (12, 14);
Verbrennen (144) des verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms (32) mit einem Brennstoff ström (78) in einer Brennkammer (16) zur Erzeugung eines Nachverbrennungsgases (34);
Expandieren (146) des Nachverbrennungsgases (34) in einer Turbine (18) zur Erzeugung eines NO_x-armen Abgases (36);
Abkühlen (148) des NO_x-armen Abgases (36) in einem Wärmerückgewinnungssystem (50) zur Erzeugung eines abgekühlten Gasstroms (62);
Verdichten (150) eines Teils des abgekühlten Gasstroms (62) in einem Hilfsverdichter (60) zum Bilden eines sauerstoff- und wasserdampfarmen abgekühlten und verdichteten Gasstroms (68); und
Injizieren (152) des sauerstoff- und wasserdampfarmen abgekühlten und verdichteten Gasstroms (68) in die Brennkammer (16) und die Turbine (18) zu Bereitstellung einer Kühlströmung.
9. Verfahren (140) nach Anspruch 8, das ein Verbrennen (144) des sauerstoffarmen Luftstroms (32) in einem Fett-Quench-Mager(RQL)-Verbrennungsmodus aufweist.
10. Verfahren (140) nach Anspruch 8 oder 9, das ferner ein Rückführen (154) eines anderen Teils des abgekühlten Luftstroms (62) zu einem Einlass (31) des Verdichters (12) zur Erzeugung des verdichteten sauerstoffarmen Luftstroms (32) aufweist.

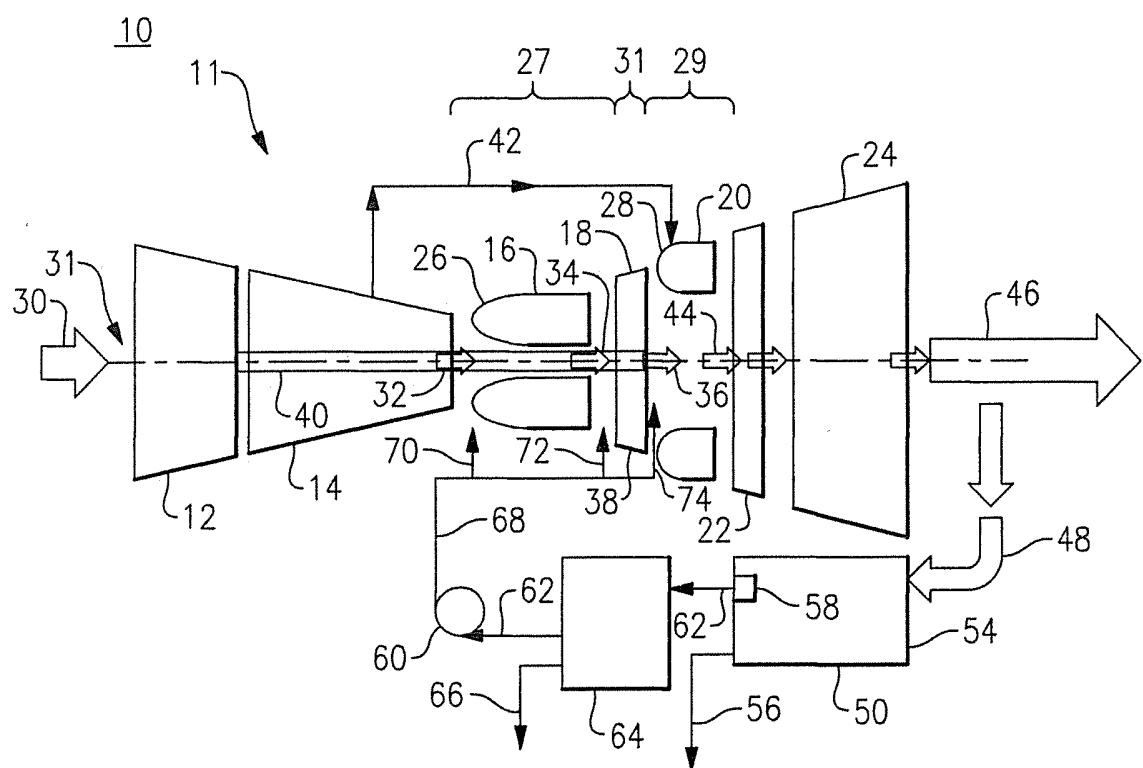


FIG.1

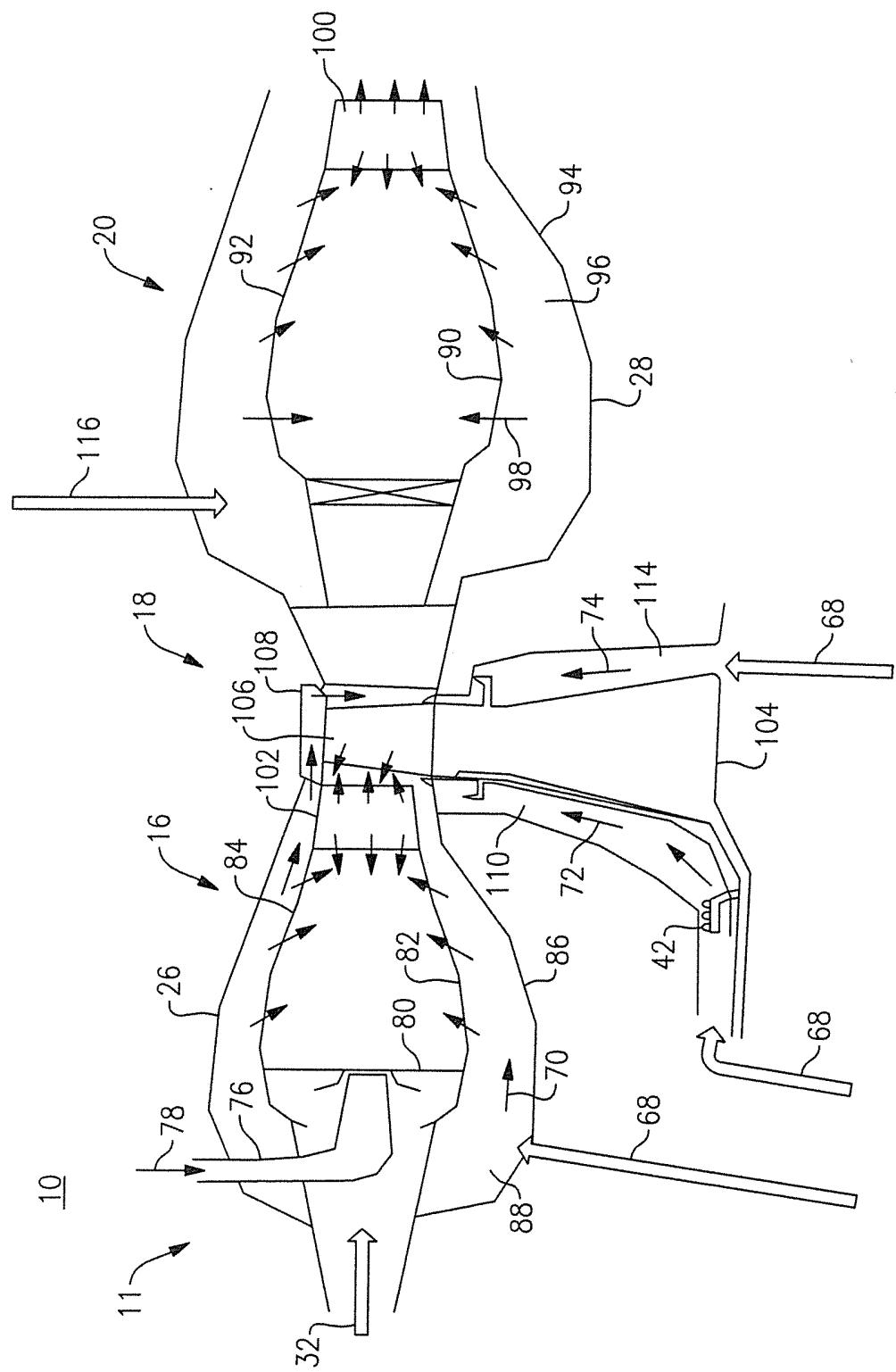


FIG. 2

120

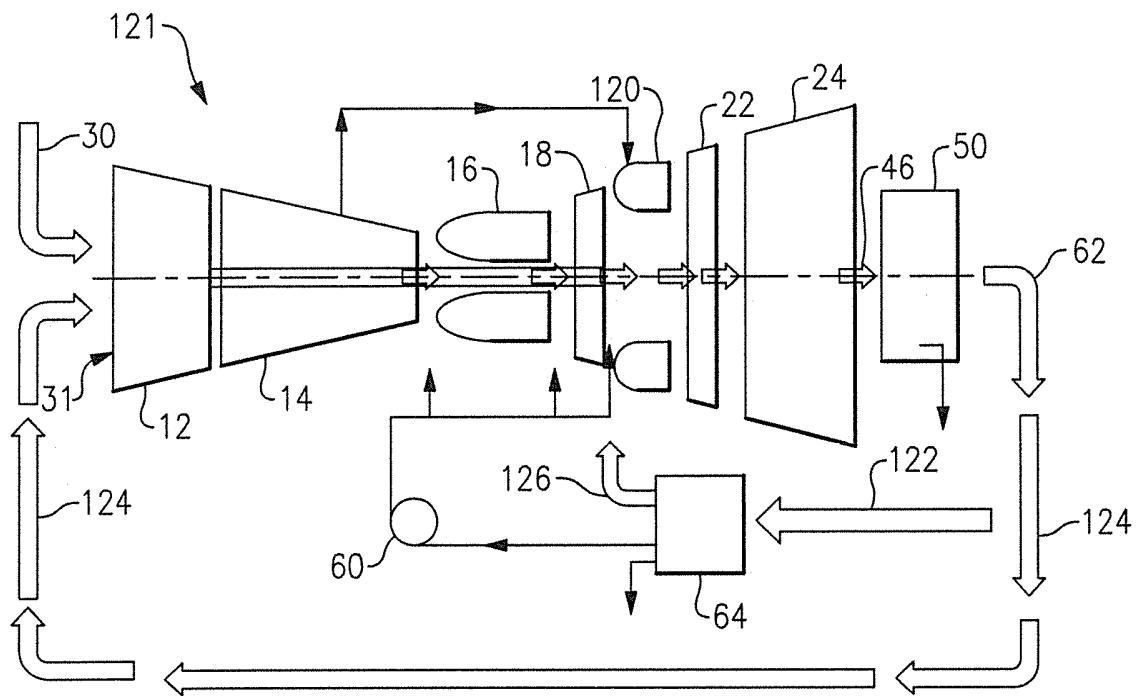


FIG.3

130

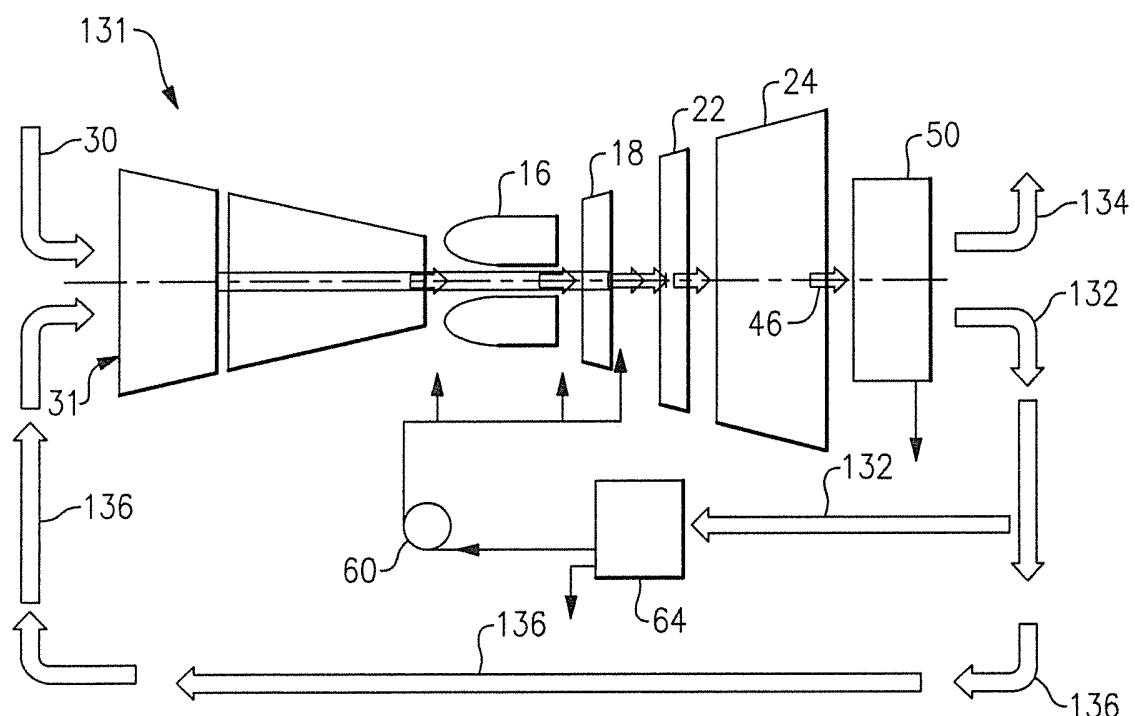
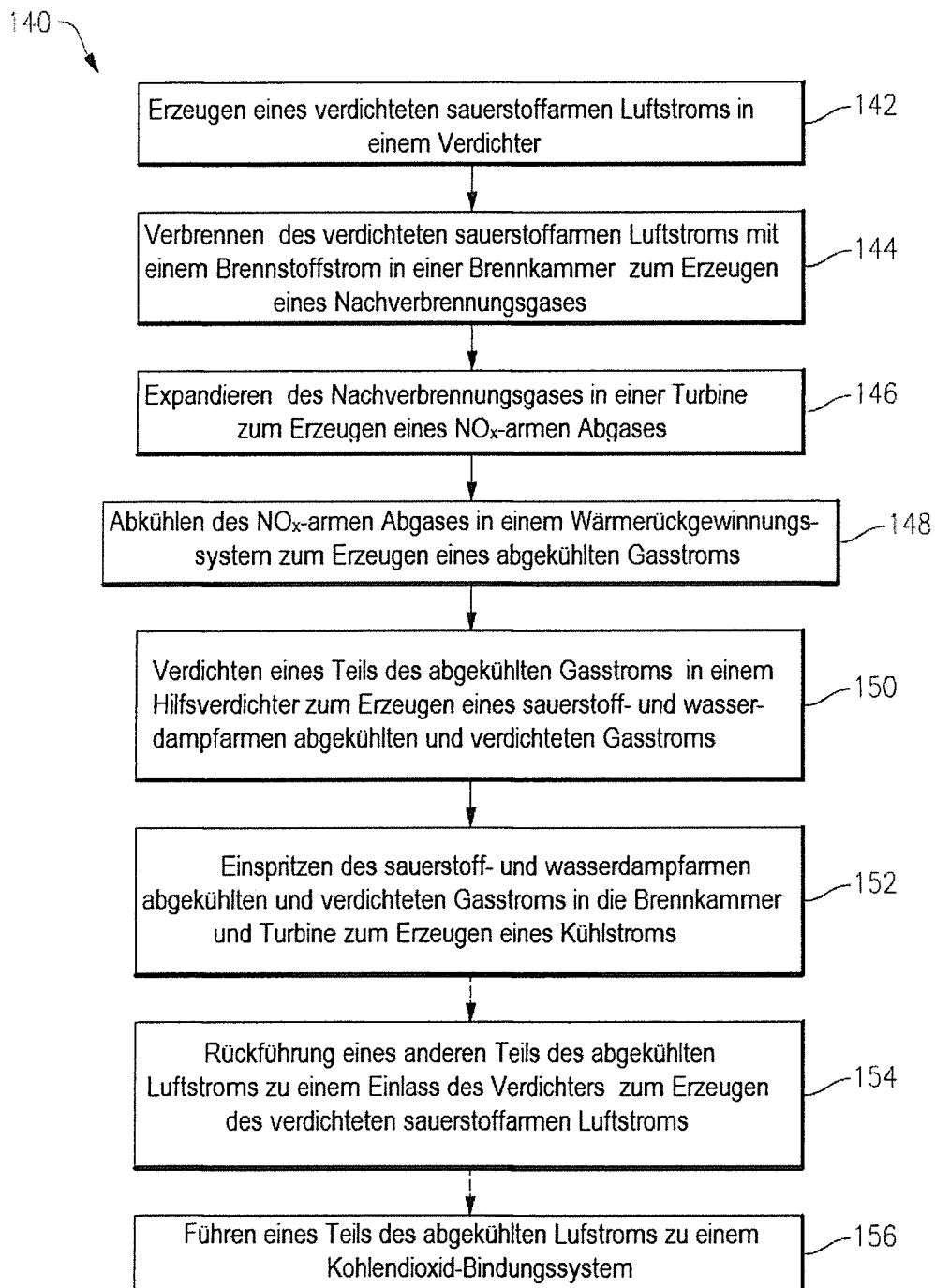


FIG.4

FIG.5