



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

703 158 B1

(51) Int. Cl.: F02C 3/10 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 01699/07

(22) Anmeldedatum: 01.11.2007

(30) Priorität: 07.11.2006 US 11/557,254

(24) Patent erteilt: 30.11.2011

(45) Patentschrift veröffentlicht: 30.11.2011

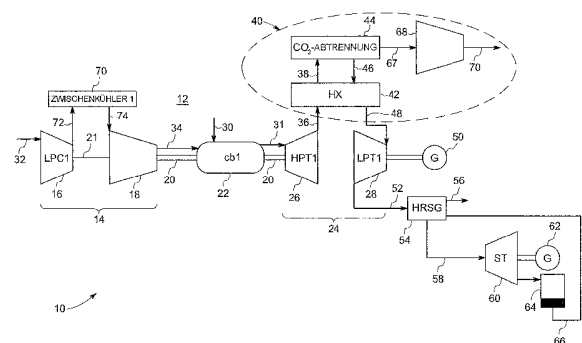
(73) Inhaber:
General Electric Company, 1 River Road
12345 Schenectady (NY) (US)

(72) Erfinder:
Stephanie Marie-Noelle Hoffmann, 80333 München (DE)
Michael Bartlett, 80799 München (DE)

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

(54) Energieerzeugungssystem.

(57) Ein Energieerzeugungssystem (10) schliesst zumindest ein Turbinensystem (12) ein. Das Turbinensystem (12) schliesst einen zumindest eine Stufe umfassenden Kompressorabschnitt (14) ein, der so konfiguriert ist, um ein komprimiertes Oxidationsmittel (34) zu liefern, und eine Verbrennungskammer (22), die so konfiguriert ist, um das komprimierte Oxidationsmittel (34) und einen Brennstoffstrom (30), welcher auf Kohlenstoff basierende Brennstoffe umfasst, zu verbrennen und ein heisses Verbrennungsgas (31) zu erzeugen. Das Turbinensystem (12) schliesst des Weiteren einen Entspannungsabschnitt (24) mit einem Einlass zur Aufnahme des heissen Verbrennungsgases (31) ein, der zumindest zwei Stufen umfasst. Die zumindest zwei Stufen schliessen eine Hochdruck-Entspannungsvorrichtung (26) ein, die konfiguriert ist, um ein entspanntes, an CO₂ reiches Abgas (36) zu erzeugen. Die Hochdruck-Entspannungsvorrichtung (26) ist strömungsmässig an eine Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (28) gekoppelt, die konfiguriert ist, um ein Endabgas (52) und elektrische Energie zu erzeugen. Ein CO₂-Abtrennsystem (40) ist strömungsmässig an die Hochdruck-Entspannungsvorrichtung (26) gekoppelt, um das entspannte, an CO₂ reiche Abgas (36) von der Hochdruck-Entspannungsvorrichtung (26) aufzunehmen und ein an CO₂ armes Gas (48) zu liefern und dann der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (28) zuzuführen.



Beschreibung

Hintergrund

[0001] Die Erfindung betrifft ein Energieerzeugungssystem gemäss Patentanspruch 1.

[0002] Energieerzeugungssysteme, die Kohlenstoff enthaltende Brennstoffe, zum Beispiel fossile Brennstoffe, verbrennen, erzeugen Kohlendioxid (CO_2) als ein Nebenprodukt während der Verbrennung, wenn Kohlenstoff zu CO_2 umgewandelt wird. Kohlendioxid- (CO_2 -) Emissionen von Kraftwerken, die fossile Brennstoffe nutzen, werden in zunehmendem Masse durch nationale und internationale Regelungen, wie etwa das Kyoto-Protokoll und das EU-Emissionshandelsprogramm, mit Strafen belegt. Mit zunehmenden Kosten für die Emission von CO_2 wird die Reduktion der CO_2 -Emission wichtig für eine wirtschaftliche Leistungserzeugung. Die Entfernung oder Rückgewinnung des Kohlendioxids (CO_2) aus Energieerzeugungssystemen, wie etwa aus dem Abgas einer Gasturbine, ist im Allgemeinen auf Grund des niedrigen CO_2 -Gehalts und des niedrigen (Umgebungs-)Drucks des Abgases nicht wirtschaftlich. Daher wird das CO_2 enthaltende Abgas typischerweise an die Atmosphäre abgegeben, und nicht in Ozeane, Minen, Ölbohrlöcher, geologische Salzvorkommen usw. abgelagert.

[0003] Gasturbinenanlagen arbeiten nach dem Brayton-Kreisprozess. Sie verwenden einen Kompressor, um die Einlassluft oberstromig einer Verbrennungskammer zu verdichten. Dann wird der Brennstoff eingeleitet und gezündet, um ein Hochtemperatur- und Hochdruck-Gas zu erzeugen, das in den Turbinenabschnitt eintritt und sich durch diesen entspannt. Der Turbinenabschnitt treibt sowohl den Generator als auch den Kompressor an. Verbrennungsturbinen sind auch in der Lage, eine breite Palette von flüssigen und gasförmigen Brennstoffen vom Rohöl bis zum Erdgas zu verbrennen.

[0004] Derzeit werden drei allgemein anerkannte Wege zur Reduktion der CO_2 -Emissionen von solchen Kraftwerken eingesetzt. Das erste Verfahren besteht darin, CO_2 auf der Ausgangsseite einzufangen. Dabei wird das während der Verbrennung erzeugte CO_2 durch ein Absorptionsverfahren, durch Membranen, kryogene Prozesse oder Kombinationen davon aus den Abgasen entfernt. Ein zweites Verfahren schliesst die Reduktion des Kohlenstoffgehalts des Brennstoffs ein. Bei diesem Verfahren wird der Brennstoff zuerst vor der Verbrennung in H_2 und CO_2 umgewandelt. Somit wird es möglich, den Kohlenstoffgehalt des Brennstoffs vor dem Eintritt in die Gasturbine einzufangen. Ein drittes Verfahren schliesst ein Sauerstoff-Brennstoff-Verfahren ein. Bei diesem Verfahren wird statt Luft reiner Sauerstoff als Oxidationsmittel verwendet, was in einem aus Kohlendioxid und Wasser bestehenden Verbrennungsgas resultiert.

[0005] Der hauptsächliche Nachteil des Verfahrens, das CO_2 auf der Ausgangsseite einzufangen, besteht darin, dass der Partialdruck des CO_2 auf Grund der niedrigen CO_2 -Konzentration in dem Verbrennungsgas sehr gering ist (typischerweise 3–4 Vol.-% für Erdgasanwendungen) und daher grosse und teure Einrichtungen zur Entfernung des CO_2 erforderlich sind. Daher besteht der Bedarf nach einer Technik, die eine wirtschaftliche Rückgewinnung von durch Energieerzeugungssysteme, die auf Kohlenstoff enthaltende Brennstoffe bauen, abgegebenem CO_2 schafft.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0006] Die Erfindung betrifft ein Energieerzeugungssystem, welches zumindest ein Turbinensystem einschliesst. Das Turbinensystem schliesst einen zumindest eine Stufe umfassenden Kompressorabschnitt, der so konfiguriert ist, um ein komprimiertes Oxidationsmittel zu liefern, und eine Verbrennungskammer ein, die so konfiguriert ist, um das komprimierte Oxidationsmittel und einen Brennstoffstrom, welcher auf Kohlenstoff basierende Brennstoffe umfasst, zu verbrennen und ein heisses Verbrennungsgas zu erzeugen. Das Turbinensystem schliesst des Weiteren einen Entspannungsabschnitt mit einem Einlass zur Aufnahme des heissen Verbrennungsgases ein, der zumindest zwei Stufen umfasst. Die zwei Stufen umfassen eine Hochdruck-Entspannungsvorrichtung, die konfiguriert ist, um ein an CO_2 reiches, entspanntes Abgas zu erzeugen. Die Hochdruck-Entspannungsvorrichtung ist strömungsmässig an eine Niederdruck-Entspannungsvorrichtung gekoppelt, die konfiguriert ist, um ein Endabgas und elektrische Energie zu erzeugen. Ein CO_2 -Abtrennsystem ist strömungsmässig an die Hochdruck-Entspannungsvorrichtung gekoppelt, um das entspannte, an CO_2 reiche Abgas von der Hochdruck-Entspannungsvorrichtung aufzunehmen und ein an CO_2 armes Gas zu liefern und dann der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung zuzuführen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen:

[0007] Diese und weitere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden durch die Lektüre der folgenden detaillierten Beschreibung unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen besser verständlich, in welchen gleiche Bezugszeichen durchgehend gleiche Teile darstellen, und worin:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines beispielhaften Energieerzeugungssystems mit einem Kohlendioxid-Abtrennsystem in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist; und

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines beispielhaften Wärmetauschersystems für die CO_2 -Abtrennung in Übereinstimmung mit der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist.

Detaillierte Beschreibung

[0008] Es wird ein Beispiel zur Verringerung von CO₂-Emissionen durch Abtrennung von CO₂ bei hohen Drücken in einem Kraftwerk, welches Gasturbinen zur Leistungserzeugung nutzt, beschrieben. CO₂ wird aus den Abgasen des an CO₂ reichen Verbrennungsgases in der Mitte des Entspannungsprofils einer Gasturbine entfernt. Da die Konzentration und der Partialdruck des CO₂ erhöht sind, wird ein geringerer Energieaufwand zur Entfernung des CO₂ beobachtet.

[0009] In einem Beispiel können zwei oder mehr beispielhafte Gasturbinensysteme in einem Energieerzeugungssystem arbeiten, um sich eine gemeinsame Zufuhr von komprimiertem Oxidationsmittel zu teilen. Als Ergebnis kann Kompressionskapazität in einem oder mehreren der Turbinensysteme frei gemacht werden, um dann in der Rückgewinnung des Kohlendioxids (CO₂), das durch eines oder mehrere der Turbinensysteme erzeugt wird, eingesetzt zu werden. In einem Beispiel liefert ein Kompressor in einem ersten Turbinensystem Oxidationsmittel (über Kanäle) an eine Verbrennungskammer in dem ersten Turbinensystem und auch an eine Verbrennungskammer in einem zweiten Turbinensystem, wodurch ein Kompressor in dem zweiten Turbinensystem frei gemacht wird. Wie vorstehend besprochen kann diese frei gemachte Kompressionskapazität eingesetzt werden, um die Konzentration an CO₂ in dem Rückgewinnungsstrom in dem zweiten Turbinensystem aus dem Abgas von einer oder mehreren der Gasturbinen zu erhöhen. Das rückgewonnene CO₂ kann zum Beispiel als Produkt verkauft oder an Ort und Stelle als Zufuhr in anderen Prozessen verwendet werden. Des Weiteren verringert eine solche Rückgewinnung des CO₂ die Menge an CO₂, die von dem Energieerzeugungssystem an die Umgebung abgegeben wird.

[0010] Unter Bezugnahme auf Fig. 1 wird ein beispielhaftes Energieerzeugungssystem 10 mit einem Gasturbinensystem 12 veranschaulicht. Das Gasturbinensystem 12 schliesst allgemein einen Kompressorabschnitt 14 ein. In einer Ausführungsform schliesst der Kompressorabschnitt 14 zumindest eine Stufe ein. In einigen anderen Ausführungsformen, wie in den Fig. 1–3 dargestellt, schliesst der Kompressorabschnitt 14 zumindest zwei Kompressionsstufen und eine Verbrennungskammer 22 ein. In einer Ausführungsform umfasst der Kompressorabschnitt 14 zwei Stufen, einen Niederdruck-Kompressor 16, der strömungsmässig an einen Hochdruck-Kompressor 18 gekoppelt und konfiguriert ist, um komprimiertes Oxidationsmittel 34 an die Verbrennungskammer 22 zuzuführen. Das Energieerzeugungssystem 10 schliesst auch zumindest einen Entspannungsabschnitt 24 ein, um die für den Antrieb der Kompressoren 16, 18 und eines Generators 50 erforderliche Energie zu liefern. Die Verbrennungskammer 22 ist konfiguriert, um einen Brennstoffstrom 30 und das komprimierte Oxidationsmittel 34 zu verbrennen und ein heisses Verbrennungsgas 31 zu erzeugen.

[0011] Wie in Fig. 1 dargestellt, umfasst der Entspannungsabschnitt 24 typischerweise zumindest zwei Stufen und ist konfiguriert, um das heisse Verbrennungsgas 31 aufzunehmen. Die zwei Stufen des Entspannungsabschnitts 24 schliessen eine Hochdruck-Entspannungsvorrichtung 26 ein, die konfiguriert ist, um ein entspanntes, an CO₂ reiches Abgas 36 zu erzeugen. Die Hochdruck-Entspannungsvorrichtung 26 ist strömungsmässig an eine Niederdruck-Entspannungsvorrichtung 28 gekoppelt, die konfiguriert ist, um ein Endabgas 52 zu erzeugen und den Generator 50 anzutreiben und Elektrizität zu erzeugen.

[0012] Das Energieerzeugungssystem 10 schliesst des Weiteren ein CO₂-Abtrennsystem 40 ein, das strömungsmässig an die Hochdruck-Entspannungsvorrichtung 26 gekoppelt ist, um das entspannte Abgas 36 von der Hochdruck-Entspannungsvorrichtung 26 aufzunehmen und ein an CO₂ armes Gas 48 an die Niederdruck-Entspannungsvorrichtung 28 zu liefern.

[0013] In der veranschaulichten, in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform werden der Hochdruck-Kompressor 18 und der Niederdruck-Kompressor 16 durch eine gemeinsame oder durch mehrere Wellen 20 angetrieben, und die Niederdruck-Entspannungsvorrichtung 28 ist eine separate Leistungsturbine, welche den Generator 50 an einer separaten Welle antreibt. Im Betrieb sorgt diese Antriebsanordnung für Flexibilität im Antrieb der Kompressoren 16, 18 und der Entspannungsvorrichtungen 26, 28 bei verschiedenen Geschwindigkeiten, um ein höheres Verdichtungsverhältnis zu erzielen. Des Weiteren kann eine derartige Gasturbine mit einer Leistungsturbine leichter zur Fluidextraktion und -wiedereinspritzung modifiziert werden.

[0014] Das Turbinensystem 12 schliesst einen Wärmerückgewinnungs-Dampfgenerator (im Folgenden als HRSG bezeichnet) 54 ein. Der HRSG 54 ist konfiguriert, um den Wärmegehalt des Endabgases 52 von dem Entspannungsabschnitt 24 zur Erzeugung von Dampf 58 und einem gekühlten Endabgas 56 zu verwenden. Das gekühlte Endabgas 56, das an die Atmosphäre abgegeben wird, ist im Wesentlichen frei von CO₂, da das CO₂-Abtrennsystem 40 konfiguriert ist, um den CO₂-Gehalt des in der Verbrennungskammer 22 erzeugten heissen Verbrennungsgases 31 abzutrennen. Der in dem HRSG 54 erzeugte Dampf 58 wird in der Folge in einer Dampfturbine 60 verwendet, um elektrische Energie und entspannten Dampf zu erzeugen. Das aus dem entspannten Dampf abgeschiedene Wasser wird wieder an den HRSG 54 rückgeführt, um Dampf zu erzeugen.

[0015] Wie in der Ausführungsform von Fig. 1 gezeigt, schliesst das CO₂-Abtrennsystem 40 einen Wärmetauscher 42 und einen CO₂-Abscheider 44 ein. Der CO₂-Abscheider 44 kann verschiedene im Stand der Technik bekannte Methoden einsetzen, einschliesslich, aber ohne auf diese beschränkt zu sein, Druckwechseladsorption, chemische Absorption und Membrantrennung, und so weiter. Um das CO₂ von dem ersten entspannten Abgasstrom 36 zu trennen, wird das erste entspannte Abgas 36 in den Wärmetauscher 42 eingeleitet, um die Temperatur zu verringern und ein gekühltes erstes entspanntes Abgas 38 zu erzeugen. Das gekühlte erste entspannte Abgas 38 wird in den CO₂-Abscheider 44 eingeleitet, um einen an CO₂ reichen Strom 67 und einen an CO₂ armen Strom 46 zu erzeugen. Der an CO₂ arme Strom 46 umfasst

des Weiteren CO, unreaktierten Brennstoff und N₂, wenn das verwendete Oxidationsmittel Luft ist. Der an CO₂ arme Strom 46 wird in den Wärmetauscher 42 eingeleitet, um den Wärmegehalt des oder aus dem ersten entspannten Abgas 36 rückzugewinnen und einen erwärmten, an CO₂ armen Strom 48 zu erzeugen. Der an CO₂ arme Strom 48 wird in die Niederdruck-Entspannungsvorrichtung 28 zur weiteren Entspannung und Erzeugung elektrischer Energie eingeleitet.

[0016] Zur Trennung von Kohlendioxid aus einem Gemisch von Gasen kann die Druckwechseladsorption (PSA) verwendet werden. In PSA-Methoden können feste Molekularsiebe bei einem hohen Partialdruck Kohlendioxid stärker als andere Gase adsorbieren. Als Ergebnis wird beim hohen Drücken Kohlendioxid aus dem Gemisch von Gasen entfernt, wenn dieses Gemisch durch ein Adsorptionsbett geleitet wird. Die Regeneration des Betts erfolgt durch Drucklosmachen und Ausblasen. Typischerweise wird für kritische Betriebsarten eine Vielzahl von Adsorptionsgefässen für die kontinuierliche Trennung von Kohlendioxid verwendet, wobei ein Adsorptionsbett verwendet wird, während die anderen regeneriert werden.

[0017] Eine weitere Methode zur Trennung von Kohlendioxid aus einem Gasstrom ist die chemische Absorption unter Verwendung von Oxiden, wie etwa Calciumoxid (CaO) und Magnesiumoxid (MgO) oder einer Kombination davon. In einer Ausführungsform wird bei hohem Druck und hoher Temperatur CO₂ durch CaO unter Bildung von Calciumcarbonat (CaCO₃) absorbiert, wodurch das CO₂ aus dem Gasgemisch entfernt wird. Das Sorptionsmittel CaO wird durch Kalzinierung des CaCO₃ regeneriert, welche erneut CaCO₃ zu CaO umbildet.

[0018] Auch die Membrantrennungstechnologie kann zur Trennung von Kohlendioxid aus einem Gasstrom verwendet werden. Membranprozesse sind im Allgemeinen energieeffizienter und einfacher durchzuführen als Absorptionsprozesse. Die zur Hochtemperatur-Kohlendioxid-Abtrennung verwendeten Membranen schliessen Zeolit- und Keramikmembranen ein, die für CO₂ selektiv sind. Typischerweise arbeiten Membranseparatoren effizienter bei hohen Drücken, und die Verwendung eines Membranabscheiders zur Trennung des Kohlendioxids von dem gekühlten ersten Abgasstrom 38 wird durch den hohen Druck an dem Auslass der Hochdruck-Entspannungsvorrichtung erleichtert. Der höhere Druck, der für die Trennung von CO₂ verfügbar ist, verringert auch die Grösse des CO₂-Abscheiders 44, wodurch die Durchführbarkeit und die Wirtschaftlichkeit des CO₂-Abtrennungsprozesses verbessert wird. Der Gesamtwirkungsgrad der Leistungserzeugung und der CO₂-Trennung wird weiter verbessert, wenn Hochtemperatur-Membranen zur Abtrennung des CO₂ verwendet werden.

[0019] In vorteilhafter Weise kann ein Hochtemperatur-Membranmaterial verwendet werden, um die Trennung bei möglichst nahe an der Extraktionstemperatur liegenden Temperaturen zu erlauben. Dies verringert die Grösse und die Kosten des Wärmetauschers 42.

[0020] Noch eine weitere Methode, die zur Trennung von CO₂ von dem ersten entspannten Abgas 36 verwendet wird, kann die chemische Absorption von CO₂ unter Verwendung von Aminen einschliessen, ist jedoch nicht darauf beschränkt. Das entspannte Abgas 36 kann auf eine geeignete Temperatur abgekühlt werden, um die chemische Absorption von Kohlendioxid unter Verwendung von Aminen einsetzen zu können. Diese Methode basiert auf Alkanolamin-Lösemitteln, die die Fähigkeit haben, Kohlendioxid bei relativ niedrigen Temperaturen zu absorbieren, und durch Erhöhen der Temperatur der angereicherten Lösemittel leicht regeneriert werden können. Ein an Kohlendioxid reicher Strom 67 wird nach Regeneration des angereicherten Lösemittels erhalten. Das für diese Methode verwendete Lösemittel kann zum Beispiel Triethanolamin, Monoethanolamin, Diethanolamin, Diisopropanolamin, Diglykolamin und Methyldiethanolamin einschliessen. Eine weitere Methode zum Abtrennen von CO₂ kann die physische Absorption sein. Es ist anzumerken, dass alle oder eine Kombination von beliebigen der zuvor beschriebenen Methoden zur CO₂-Trennung verwendet werden können, um CO₂ in vorteilhafter Weise abzutrennen.

[0021] Der Wärmetauscher 42 in dem CO₂-Abtrennsystem 40 ist typischerweise ein Gas-Gas-Wärmetauscher, der zwei gasförmige Ströme behandelt, nämlich den entspannten Abgasstrom 36 und den an CO₂ armen Strom 46. Das Volumen des entspannten Abgasstroms 36 ist grösser als das Volumen des an CO₂ armen Stroms 46, der aus dem CO₂-Abscheider 44 kommt, da CO₂ in dem CO₂-Abscheider 44 von dem entspannten Abgasstrom 36 isoliert wird. Daher kann die Wärmemenge, die von dem entspannten Abgasstrom 36 in dem Wärmetauscher 42 freigesetzt wird, nicht vollständig für die Erwärmung des an CO₂ armen Stroms 46 genutzt werden, und diese überschüssige Wärme kann eingesetzt werden, um das Lösemittel in dem CO₂-Abscheider in dem Fall, dass das chemische Adsorptionsverfahren verwendet wird, zu regenerieren. In einigen Ausführungsformen kann das CO₂-Abtrennsystem des Weiteren ein Wasserentfernungssystem einschliessen, um Feuchtigkeit aus dem entspannten Abgas 36 zu entfernen, wodurch das Volumen des an CO₂ armen Stroms 46 weiter verringert wird. Daher wird durch Einbeziehung der Wasserentfernungseinheit die zur Lösemittelregeneration verfügbare überschüssige Wärme gesteigert. Auf Grund dieser effektiven Ausnützung der überschüssigen Wärme von dem Wärmetauscher 42 wird der Gesamtwirkungsgrad des Energieerzeugungssystems 10 erhöht. Zusätzlich kann die überschüssige Wärme auf andere Weise eingesetzt werden, um den Gesamtwirkungsgrad des Energieerzeugungssystems 10 zu verbessern.

[0022] In einigen Ausführungsformen wird im Betrieb das Oxidationsmittel 32 in dem Niederdruck-Kompressor 16 auf etwa 2 bis etwa 10 bar komprimiert und optional in einem ersten Zwischenkühler 70 abgekühlt. Das Grundprinzip der Zwischenkühlung schliesst ein, das Gas zum Teil zu komprimieren und dann zu kühlen, bevor die endgültige Kompression auf den gewünschten Druck durchgeführt wird, zum Beispiel in dem Hochdruck-Kompressor 18. Auf diese Weise wird die Verdichtungsarbeit verringert und somit die Leistungsabgabe des Kreisprozesses erhöht. Da die bestehenden Gasturbinen

der aeroderivativen Art Zwischenkühler umfassen, die zwischen den Kompressionsstufen angeordnet sind, sind keine weiteren Änderungen der Turbinenkonstruktion erforderlich, um die Zwischenkühler in solche Systeme zu integrieren.

[0023] Das in den vorstehenden Abschnitten beschriebene Energieerzeugungssystem 10 nutzt die Positionierung des CO₂-Abtrennsystems in vorteilhafter Weise, um in dem Verbrennungsverfahren erzeugtes CO₂ effektiv abzutrennen. Wie in Fig. 1 dargestellt, wird CO₂ nach der Verbrennung, oder noch spezifischer, aus dem bei einem Druck mitten auf dem Weg durch die Gasturbinen-Entspannungsvorrichtung 24 extrahierten Verbrennungsgas entfernt. Es ist vorteilhaft, das CO₂ von einem druckbeaufschlagten Verbrennungsgas zu entfernen, da die Antriebskräfte für die Trennung erhöht und die Anlagengrösse und -kosten verringert werden. Doch je höher der Extraktionsdruck des Verbrennungsgases ist, umso höher ist auch dessen Extraktionstemperatur. Auf Grund von Materialbeschränkungen ist es vorteilhaft, das CO₂-Abtrennsystem 40 für eine Temperatur von etwa 700 °C bis etwa 1000 °C auszulegen. Obwohl der im heissen Verbrennungsgasstrom 31 verfügbare Druck unmittelbar nach der Verbrennungskammer 22 höher ist als der Druck des ersten entspannten Abgases 36, ist der Nachteil für die Positionierung des CO₂-Abtrennsystems 40 in der Mitte des Entspannungs-pfads die hohe Temperatur des heissen Verbrennungsgases 31 von etwa 1300 °C. In Gasturbinen der aeroderivativen Art, wie in Fig. 1 dargestellt, ergeben mehrere Kompressions- und Entspannungsstufen ein hohes Verdichtungsverhältnis. Daher ist der Druck, der in der Mitte des Entspannungsabschnittes 24 verfügbar ist, ausreichend hoch, um ein kostengünstiges und effizientes CO₂-Abtrennsystem 40 zu konstruieren, da der in dem Kompressorabschnitt 14 erzeugte Druck im Wesentlichen hoch ist.

[0024] Fig. 2 veranschaulicht eine beispielhafte Wärmetauscheinheit 300 für das in Fig. 1 gezeigte CO₂-Abtrennsystem. In Ausführungsformen, bei denen das entspannte Gas 308 von der Hochdruck-Entspannungsvorrichtung (in Fig. 2 nicht dargestellt) auf die Umgebungstemperatur (zum Beispiel, wenn ein Aminverfahren verwendet wird, um CO₂ aus den Abgasströmen abzutrennen) abgekühlt werden muss, wird das gekühlte, erste entspannte Abgas 304 von dem Wärmetauscher 302 in einen Niedertemperatur-Wärmetauscher 306 eingeleitet, welcher Niedertemperatur-Wärmetauscher 306 den gekühlten, ersten entspannten Abgasstrom weiter abkühlt, welcher den Wärmetauscher 302 verlässt. Der Niedertemperatur-Wärmetauscher 306 ist an eine Befeuchtungseinrichtung 320 gekoppelt, welche Befeuchtungseinrichtung 320 eine Quelle für Feuchtigkeit ist, die mit dem von dem CO₂-Abscheider 316 abgegebenen, an CO₂ armen Strom 318 gemischt werden soll. Das Wärmetauschsystem 300 kann des Weiteren einen Trim-Kühler 312 umfassen, der zwischen dem Niedertemperatur-Wärmetauscher 306 und dem CO₂-Abscheider 316 eingebracht ist, um die Kühlungeffizienz des ersten entspannten Abgasstroms 308 zu fördern.

[0025] Das in dem vorstehenden Abschnitt beschriebene Energieerzeugungssystem 10 weist mehrere Vorteile auf. Das CO₂-Abtrennsystem 40 ist in vorteilhafter Weise zwischen den Nieder- und Hochdruck-Entspannungsvorrichtungen 26, 28 angeordnet. Das erste entspannte Abgas von der Hochdruck-Entspannungsvorrichtung weist eine Temperatur von etwa 700 °C bis etwa 1000 °C auf, jedoch noch immer einen Druck, der ausreichend ist, um in dem Fall, dass ein Membranabscheider oder ein PSA verwendet wird, für eine hohe Abtrennungseffizienz von CO₂ in dem CO₂-Abscheider 40 zu sorgen. Die Grösse und die Investitionskosten für die Installation des CO₂-Abtrennsystems 40 werden ebenfalls verringert, da das erste entspannte Abgas bei einem hohen Druck von etwa 2 bar bis etwa 30 bar und einer massigen Temperatur von etwa 700 °C bis etwa 1000 °C vorliegt. Das hierin beschriebene Energieerzeugungssystem 10 ist konfiguriert, um eine weitgehende Isolierung von CO₂ zu erreichen, da das gesamte von den Verbrennungskammern erzeugte CO₂ in das CO₂-Abtrennsystem 40 eingeleitet wird. In einem Beispiel, in welchem zwei Turbinensysteme eingeschlossen sein können, werden die Verbrennungsprodukte von dem zweiten Turbinensystem in einem geschlossenen Kreislauf wie oben beschriebenen rückgeführt, um das optimale Konzentrationsniveau an CO₂ aufzubauen, bevor sie in die erste Verbrennungskammer eingeleitet werden. Somit ist das Abgas, das von einem solchen Energieerzeugungssystem an die Atmosphäre abgegeben wird, im Wesentlichen frei von CO₂.

[0026] Typischerweise zeigt das Energieerzeugungssystem, welches die CO₂-Abtrennung und -Isolierung integriert, eine wesentliche Verringerung (in dem Bereich von etwa 10%) im Gesamtzykluswirkungsgrad im Vergleich mit einem Leistungszyklus ohne CO₂-Abtrennung. Das oben beschriebene Energieerzeugungssystem zeigt jedoch aus den folgenden Gründen eine viel kleinere Verringerung in dem Gesamtzykluswirkungsgrad. Die Positionierung des CO₂-Abtrennsystems 40 in der Mitte des Entspannungsabschnitts 24, wodurch die Abtrennungseffizienz von CO₂ durch Nutzung eines weitgehend hohen Drucks sogar am Ausgang der Hochdruck-Entspannungsvorrichtung 26 erhöht wird, hilft dabei, den Gesamtwirkungsgrad des Leistungszyklus zu steigern. Darüber hinaus erhöhen die Verwendung einer Nachverbrennungsbrennkammer und die Nutzung der überschüssigen Wärme, die in dem Gas-Gas-Wärmetauscher erzeugt wird, in dem CO₂-Abtrennsystem 40 den Wirkungsgrad des Zyklus noch weiter. Daher ist der Gesamtenergieaufwand in Verbindung mit dem Energieerzeugungssystem mit CO₂-Abtrennung 40, wie zuvor beschrieben, viel geringer als bei herkömmlichen Leistungszyklen mit CO₂-Abscheidung.

[0027] Während nur bestimmte Merkmale der Erfindung hierin veranschaulicht und beschrieben wurden, werden dem Fachmann im Rahmen der Patentansprüche viele Abwandlungen und Abänderungen in den Sinn kommen. Daher ist klar, dass die folgenden Ansprüche alle derartigen Abwandlungen und Abänderungen, die zum Wesen der Erfindung gehören, abdecken sollen.

Patentansprüche

1. Energieerzeugungssystem (10), umfassend: zumindest ein Turbinensystem (12), welches umfasst:
 - einen zumindest eine Stufe umfassenden Kompressorabschnitt (14), der konfiguriert ist, um ein komprimiertes Oxidationsmittel (34) zu liefern;
 - eine Verbrennungskammer (22), die konfiguriert ist, um das komprimierte Oxidationsmittel (34) und einen Brennstoffstrom (30), welcher auf Kohlenstoff basierende Brennstoffe umfasst, zu verbrennen und ein heisses Verbrennungsgas (31) zu erzeugen;
 - einen zumindest zwei Stufen umfassenden Entspannungsabschnitt (24) mit einem Einlass zur Aufnahme des heissen Verbrennungsgases (31), wobei die zumindest zwei Stufen eine Hochdruck-Entspannungsvorrichtung (26) umfassen, die konfiguriert ist, um ein entspanntes, an CO₂ reiches Abgas (36) zu erzeugen, wobei die Hochdruck-Entspannungsvorrichtung (26) strömungsmässig an eine Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (28) gekoppelt ist, die konfiguriert ist, um ein Endabgas (52) und elektrische Energie zu erzeugen; und
 - ein CO₂-Abtrennsystem (40), das strömungsmässig an die Hochdruck-Entspannungsvorrichtung (26) gekoppelt ist, um das entspannte, an CO₂ reiche Abgas (36) von der Hochdruck-Entspannungsvorrichtung (26) aufzunehmen und ein an CO₂ armes Gas (48) zu liefern und dann der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (28) zuzuführen.
2. Energieerzeugungssystem (10) nach Anspruch 1, wobei der Kompressorabschnitt (14) zumindest zwei Stufen umfasst, wobei die zumindest zwei Stufen einen strömungsmässig an einen Hochdruck-Kompressor (18) gekoppelten Niederdruck-Kompressor (16) umfassen.
3. Energieerzeugungssystem (10) nach Anspruch 1 oder 2, wobei das CO₂-Abtrennsystem (40) einen Wärmetauscher (42), der konfiguriert ist, um Wärme aus dem entspannten, an CO₂ reichen Abgas (36) rückzugewinnen und ein gekühltes, entspanntes Abgas (38) zu erzeugen, sowie einen Kohlendioxid-Abscheider (44), der konfiguriert ist, um das gekühlte, entspannte Abgas (38) aufzunehmen und einen an Kohlendioxid armen Strom (46) zu erzeugen, umfasst.
4. Energieerzeugungssystem (10) nach Anspruch 3, wobei der Wärmetauscher (42) einen Kreuzwärmetauscher umfasst, der konfiguriert ist, um aus dem entspannten, an CO₂ reichen Abgas (36), im Austausch mit dem an Kohlendioxid armen Strom (46) aus dem Kohlendioxid-Abscheider (44), Wärme rückzugewinnen.
5. Energieerzeugungssystem (10) nach Anspruch 3 oder 4, wobei der Kohlendioxid-Abscheider (44) eine Membraneinheit umfasst.
6. Energieerzeugungssystem (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, des Weiteren umfassend einen Wärmerückgewinnungs-Dampfgenerator (54), der konfiguriert ist, um Wärme aus dem Endabgas (52) rückzugewinnen und Dampf zu erzeugen.
7. Energieerzeugungssystem (10) nach Anspruch 6, des Weiteren umfassend eine Dampfturbine (60), die konfiguriert ist, um den Dampf zur Erzeugung elektrischer Energie zu verwenden.
8. Energieerzeugungssystem (10) nach einem der Ansprüche 2 bis 7, des Weiteren umfassend einen Zwischenkühler (70), der zwischen dem Niederdruck-Kompressor (16) und dem Hochdruck-Kompressor (18) angeordnet ist.
9. Energieerzeugungssystem (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Endabgas (52) im Wesentlichen frei von CO₂ ist.
10. Energieerzeugungssystem (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Brennstoffstrom (30) Erdgas umfasst.

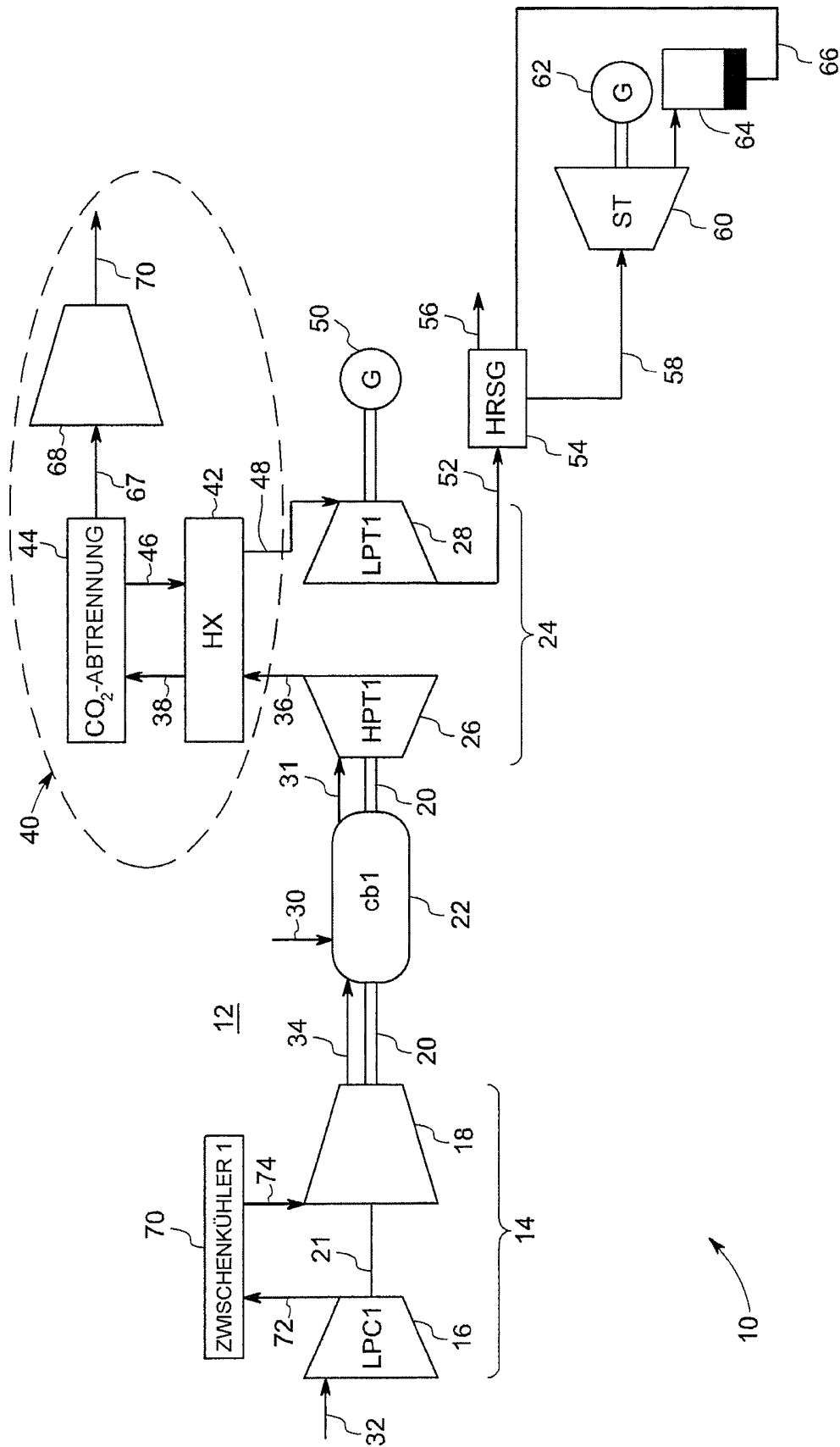


FIG. 1

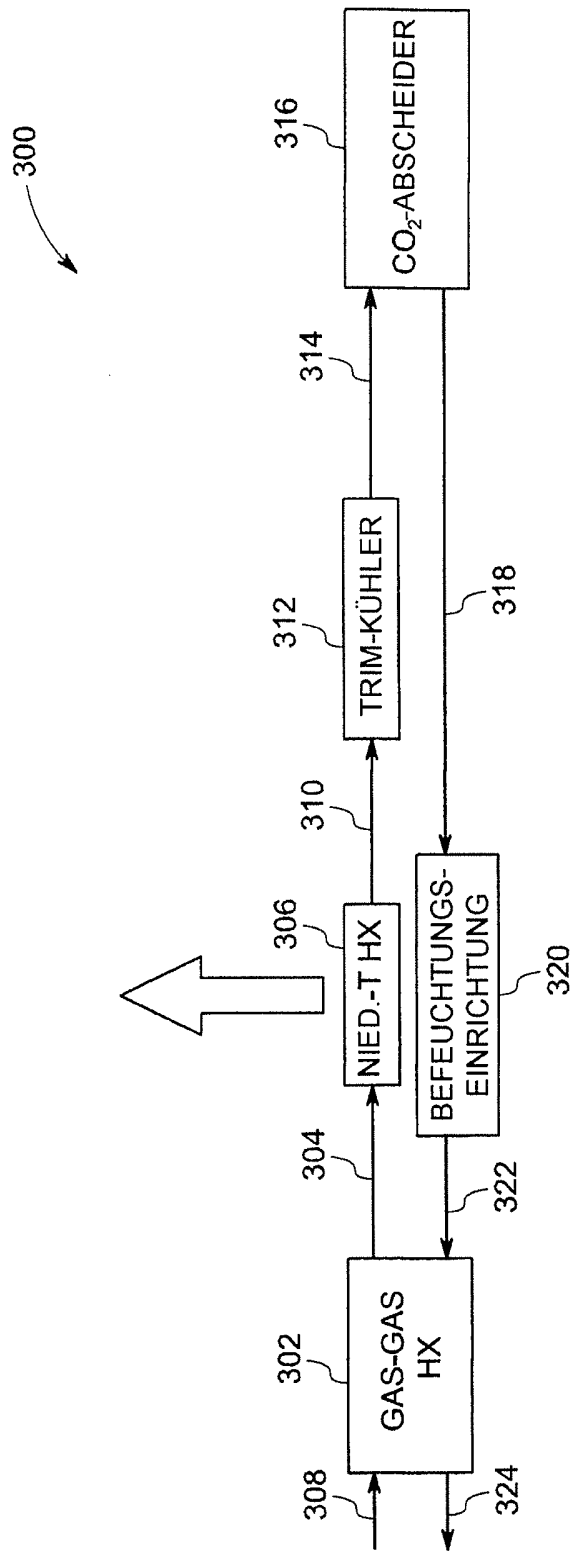


Fig. 2