

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 702 225 B1

(51) Int. Cl.: F02C 3/30 (2006.01)  
F02C 3/34 (2006.01)

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

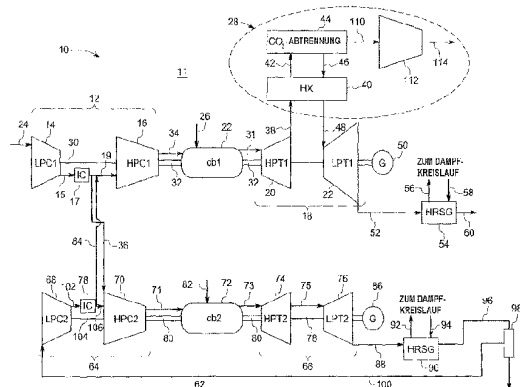
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer:	01700/07	(73) Inhaber:	General Electric Company, 1 River Road 12345 Schenectady (NY) (US)
(22) Anmeldedatum:	01.11.2007	(72) Erfinder:	Matthias Finkenrath, 81927 München (DE) Michael Bartlett, 80799 München (DE)
(30) Priorität:	07.11.2006 US 11/557,250	(74) Vertreter:	R. A. Egli & Co. Patentanwälte, Horneggstrasse 4 8008 Zürich (CH)
(24) Patent erteilt:	31.05.2011		
(45) Patentschrift veröffentlicht:	31.05.2011		

(54) **Energieerzeugungssystem.**

(57) Ein Energieerzeugungssystem (10) ist bereitgestellt, welches ausgelegt ist, CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Abtrennung von CO<sub>2</sub> bei hohen Drücken in einem Kraftwerk, das Gasturbinen zur Energieerzeugung verwendet, zu senken. Das CO<sub>2</sub> wird aus den CO<sub>2</sub>-reichen Rauchgasen in der Mitte des Expansionsweges oder des Verdichtungsweges einer Gasturbine entfernt. Mit zunehmender Konzentration und zunehmendem Partialdruck von CO<sub>2</sub> wird ein geringerer Energieverlust, um das CO<sub>2</sub> zu entfernen, beobachtet.



## Beschreibung

### Hintergrund

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

[0002] Energieerzeugungssysteme, die Brennstoffe verbrennen, die Kohlenstoff enthalten, zum Beispiel fossile Brennstoffe, produzieren während der Verbrennung Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) als ein Nebenprodukt, da Kohlenstoff in CO<sub>2</sub> umgewandelt wird. Kohlendioxid(CO<sub>2</sub>)-Emissionen von Kraftwerken, die fossile Brennstoffe verwenden, werden zunehmend durch nationale und internationale Vorschriften, wie das Kyoto-Protokoll und das Emissionshandelssystem der EU, bestraft. Bei zunehmenden Kosten des CO<sub>2</sub>-Ausstosses ist die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission für eine wirtschaftliche Energieerzeugung wichtig. Die Entfernung oder Rückgewinnung des Kohlendioxids (CO<sub>2</sub>) aus Energieerzeugungssystemen, wie zum Beispiel aus dem Abgas einer Gasturbine, ist aufgrund des geringen CO<sub>2</sub>-Gehalts und geringen (Umgebungs-)Drucks des Abgases im Allgemeinen nicht wirtschaftlich. Das Abgas, das das CO<sub>2</sub> enthält, wird daher typischerweise in die Atmosphäre freigesetzt und wird nicht in Meeren, Minen, Erdöllagerstätten, geologischen salzhaltigen Wasserreservoirs und so weiter eingelagert.

[0003] Gasturbinenanlagen arbeiten auf der Basis des Brayton-Zyklus. Sie verwenden einen Kompressor, um die Eintrittsluft vor einer Verbrennungskammer zu verdichten. Dann wird der Brennstoff eingebracht und entzündet, um ein Gas mit hoher Temperatur und hohem Druck zu produzieren, das in den Turbinenabschnitt eintritt und durch diesen expandiert. Der Turbinenabschnitt treibt sowohl den Generator als auch den Kompressor an. Verbrennungsturbinen sind auch in der Lage, eine breite Vielfalt von flüssigen und gasförmigen Brennstoffen, von Rohöl bis Erdgas, zu verbrennen.

[0004] Es gibt drei allgemein anerkannte Arten und Weisen, die zurzeit zum Reduzieren der CO<sub>2</sub>-Emissionen derartiger Kraftwerke eingesetzt werden. Das erste Verfahren besteht darin, das CO<sub>2</sub> nach der Verbrennung mit Luft aus dem Abgas abzutrennen, wobei das während der Verbrennung produzierte CO<sub>2</sub> aus den Abgasen durch einen Absorptionsprozess, Membranen, Diaphragmas, Tieftemperaturprozesse oder Kombinationen davon entfernt wird. Dieses Verfahren, das üblicherweise als Abtrennung nach der Verbrennung bezeichnet wird, konzentriert sich gewöhnlich auf das Reduzieren der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem atmosphärischen Abgas eines Kraftwerks. Ein zweites Verfahren umfasst das Reduzieren des Kohlenstoffanteils des Brennstoffs. In diesem Verfahren wird der Brennstoff zunächst vor der Verbrennung in H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> umgewandelt. Es wird dadurch ermöglicht, den Kohlenstoffanteil des Brennstoffs vor dem Eintritt in die Gasturbine abzutrennen. Ein drittes Verfahren umfasst einen Sauerstoff-Brennstoff-Prozess. Bei diesem Verfahren wird reiner Sauerstoff im Gegensatz zu Luft als Oxidationsmittel eingesetzt, wobei sich dadurch ein Rauchgas ergibt, das aus Kohlendioxid und Wasser besteht.

[0005] Der Hauptnachteil der CO<sub>2</sub>-Abtrennungsvorgänge nach der Verbrennung besteht darin, dass der CO<sub>2</sub>-Partialdruck wegen der geringen CO<sub>2</sub>-Konzentration in dem Rauchgas (typischerweise 3–4 Vol.-% für mit Erdgas befeuerte Anlagen) sehr gering ist und daher grosse und teure Vorrichtungen zum Entfernen des CO<sub>2</sub> benötigt werden. Obwohl die CO<sub>2</sub>-Konzentration am Schornstein und somit der Partialdruck durch teilweise Rezirkulation des Rauchgases in den Kompressor der Gasturbine erhöht werden könnte, bleibt sie immer noch ziemlich niedrig (etwa 6–10 Vol.-%). Die geringen CO<sub>2</sub>-Partialdrücke und die grossen Gasvolumen, die bei der Form der Abtrennung nach der Verbrennung eingeschlossen sind, führen zu sehr hohen Energiekosten, die mit der CO<sub>2</sub>-Entfernung verbunden sind, zusätzlich zu der sehr grossen und teuren Ausrüstung. Beide diese Faktoren erhöhen die Kosten der Elektrizitätserzeugung erheblich. Es besteht daher ein Bedarf an einem Verfahren, das eine wirtschaftliche Rückgewinnung von CO<sub>2</sub>, das von Energieerzeugungssystemen (zum Beispiel Gasturbinen) ausgestossen wird, die auf kohlenstoffhaltigen Brennstoffen beruhen, gewährleistet.

### Kurze Beschreibung

[0006] Die Erfindung betrifft ein Energieerzeugungssystem gemäss Patentanspruch 1. Das Energieerzeugungssystem umfasst ein erstes Turbinensystem. Das erste Turbinensystem umfasst einen ersten Kompressorabschnitt, der mindestens zwei Stufen umfasst. Die zwei Stufen umfassen einen ersten Niederdruckkompressor und einen ersten Hochdruckkompressor, welche fluidgekoppelt sind. Der erste Kompressorabschnitt ist ausgelegt, einen ersten Teil eines verdichteten Oxidationsmittels und einen zweiten Teil eines verdichteten Oxidationsmittels bereitzustellen. Das erste Turbinensystem umfasst ferner eine erste Verbrennungskammer, die ausgelegt ist, den ersten Teil des verdichteten Oxidationsmittels und einen ersten Brennstoffstrom, der kohlenstoffbasierende Brennstoffe umfasst, zu verbrennen und ein erstes heisses Rauchgas zu erzeugen. Das erste Turbinensystem umfasst ferner einen ersten Expansionsabschnitt mit einer Eintrittsöffnung zum Aufnehmen des ersten heissen Rauchgases, der mindestens zwei Stufen umfasst, wobei die mindestens zwei Stufen einen ersten Hochdruckexpander umfassen, der ausgelegt ist, ein erstes expandiertes Abgas zu erzeugen, das reich an CO<sub>2</sub> ist. Der erste Hochdruckexpander ist fluidgekoppelt mit einem ersten Niederdruckexpander, der ausgelegt ist, ein erstes endgültiges Abgas und elektrische Energie zu erzeugen. Das erste Turbinensystem umfasst ferner ein CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem, das fluidgekoppelt ist mit dem Hochdruckexpander, das ausgelegt ist, das erste expandierte Abgas aus dem ersten Hochdruckexpander aufzunehmen und ein CO<sub>2</sub>-armes Gas bereitzustellen und in den ersten Niederdruckexpander einzuspeisen.

[0007] Das Energieerzeugungssystem umfasst ebenfalls ein zweites Turbinensystem, das einen zweiten Kompressorabschnitt mit mindestens zwei Stufen umfasst. Die zwei Stufen umfassen einen zweiten Niederdruckkompressor, der mit ei-

nem zweiten Hochdruckkompressor fluidgekoppelt ist, wobei der Hochdruckkompressor ausgelegt ist, den zweiten Teil des verdichteten Oxidationsmittels aufzunehmen. Das zweite Turbinensystem umfasst ferner eine zweite Verbrennungskammer, die ausgelegt ist, einen zweiten Brennstoffstrom, der kohlenstoffbasierende Brennstoffe umfasst, zu verbrennen und ein zweites heisses Rauchgas zu erzeugen, und einen zweiten Expansionsabschnitt, der ausgelegt ist, das zweite heisse Rauchgas aufzunehmen und ein zweites endgültiges Abgas und elektrische Energie zu erzeugen. Der zweite Kompressorabschnitt ist ausgelegt, das zweite endgültige Abgas, das Kohlendioxid umfasst, aufzunehmen und einen Kreislaufstrom aus dem zweiten Hochdruckkompressor in die zweite Verbrennungskammer und einen Teilstrom aus dem zweiten Niederdruckkompressor in den ersten Hochdruckkompressor zu fördern.

### Zeichnungen

[0008] Diese und andere Merkmale, Gesichtspunkte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden besser verstanden werden, wenn die folgende ausführliche Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen gelesen wird, wobei in allen Zeichnungen gleiche Zeichen gleiche Teile darstellen, wobei:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung eines beispielhaften Energieerzeugungssystems ist, das zwei Turbinensysteme umfasst;
- Fig. 2 eine schematische Darstellung eines weiteren beispielhaften Energieerzeugungssystems ist, das zwei Turbinensysteme umfasst;
- Fig. 3 eine schematische Darstellung noch eines weiteren beispielhaften Energieerzeugungssystems ist, das zwei Turbinensysteme umfasst; und
- Fig. 4 eine schematische Darstellung eines weiteren beispielhaften Energieerzeugungssystems ist, das zwei Turbinensysteme umfasst.

### Ausführliche Beschreibung

[0009] Gemäss der Erfindung ist ein Energieerzeugungssystem bereitgestellt, welches ausgelegt ist, CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Abtrennung von CO<sub>2</sub> bei hohen Drücken in einem Kraftwerk, das Gasturbinen zur Energieerzeugung verwendet, zu senken. Das CO<sub>2</sub> wird aus den CO<sub>2</sub>-reichen Rauchgasen in der Mitte des Expansionsweges oder des Verdichtungsweges einer Gasturbine entfernt. Mit zunehmender Konzentration und zunehmendem Partialdruck von CO<sub>2</sub> wird ein geringerer Energieverlust, um das CO<sub>2</sub> zu entfernen, beobachtet.

[0010] Gemäss der vorliegenden Erfindung umfasst das Energieerzeugungssystem zwei oder mehr beispielhafte Turbinensysteme, wobei die Turbinensysteme in der Mitte des Verdichtungsweges miteinander verbunden sind und sich eine gemeinsame Zufuhr an verdichtetem Oxidationsmittel teilen. Das Verbinden der Turbinensysteme führt demzufolge zu einem Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration, was für den CO<sub>2</sub>-Abtrennungsprozess von Vorteil ist. In einem Beispiel versorgt ein Kompressorabschnitt in einem ersten Turbinensystem eine Verbrennungskammer in dem ersten Turbinensystem und auch eine Verbrennungskammer in einem zweiten Turbinensystem mit Oxidationsmittel (über Rohrleitungen). Wie nachstehend erläutert, kann dies eingesetzt werden, um die Konzentration von CO<sub>2</sub> in dem Kreislaufstrom in dem zweiten Turbinensystem aus dem Abgas einer oder mehrerer der Gasturbinen zu erhöhen. Das zurückgewonnene CO<sub>2</sub> kann zum Beispiel als Produkt verkauft, zur verbesserten Ölrückgewinnung verwendet oder vor Ort als Einspeisung in anderen Prozessen verbraucht werden. Des Weiteren reduziert eine derartige Rückgewinnung von CO<sub>2</sub> die Menge an CO<sub>2</sub>, die von dem Energieerzeugungssystem an die Umwelt abgegeben wird.

[0011] Jetzt Bezug nehmend auf Fig. 1, ist ein beispielhaftes Energieerzeugungssystem 10 mit einem Turbinensystem 11 veranschaulicht. Das Turbinensystem 11 umfasst im Allgemeinen einen ersten Kompressorabschnitt 12, der typischerweise mindestens zwei Stufen umfasst. Wie in Fig. 1 gezeigt, umfasst der erste Kompressorabschnitt 12 einen ersten Niederdruckkompressor 14, der mit einem ersten Hochdruckkompressor 16 fluidgekoppelt ist, wobei der erste Kompressorabschnitt 12 ausgelegt ist, einen ersten Teil eines verdichteten Oxidationsmittels 34 und einen zweiten Teil eines verdichteten Oxidationsmittels 36 bereitzustellen. Das erste Turbinensystem 11 umfasst ebenfalls eine erste Verbrennungskammer 22, einen ersten Expansionsabschnitt 18 zum Bereitstellen der Energie, die zum Antreiben der Kompressoren 14 und 16 erforderlich ist, und einen Generator 50. Die erste Verbrennungskammer 22 ist ausgelegt, den ersten Teil des verdichteten Oxidationsmittels 34 und einen ersten Brennstoffstrom 26, der kohlenstoffbasierende Brennstoffe umfasst, zu verbrennen und ein erstes heisses Rauchgas 31 zu erzeugen.

[0012] Der erste Expansionsabschnitt 18 hat eine Eintrittsöffnung zum Aufnehmen des ersten heissen Rauchgases 31 und ist ausgelegt, mindestens zwei Stufen aufzuweisen. Die zwei Stufen umfassen einen ersten Hochdruckexpander 20, der ausgelegt ist, ein erstes expandiertes Abgas 38 zu erzeugen, das reich an CO<sub>2</sub> ist. Der erste Hochdruckexpander 20 ist fluidgekoppelt mit einem ersten Niederdruckexpander 22, der ausgelegt ist, ein erstes endgültiges Abgas 52 und elektrische Energie zu erzeugen.

**[0013]** Das erste Turbinensystem 11 umfasst ferner ein CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem 28, das mit dem ersten Hochdruckexpander 20 fluidgekoppelt ist, zum Aufnehmen des ersten expandierten Abgases 38 aus dem ersten Hochdruckexpander 20 und um den ersten Niederdruckexpander 22 mit einem CO<sub>2</sub>-armen Gas 48 zu versorgen.

**[0014]** Das Energieerzeugungssystem 10 umfasst ebenfalls ein zweites Turbinensystem 62, das einen zweiten Kompressorabschnitt 64 umfasst, der ausgelegt ist, mindestens zwei Stufen aufzuweisen. Die zwei Stufen umfassen einen zweiten Niederdruckkompressor 68, der mit einem zweiten Hochdruckkompressor 70 fluidgekoppelt ist. Der zweite Hochdruckkompressor 70 ist ausgelegt, den zweiten Teil des verdichteten Oxidationsmittels 36 aufzunehmen und einen Kreislaufstrom 71 zu erzeugen. Eine zweite Verbrennungskammer 72 ist ausgelegt, einen zweiten Brennstoffstrom 82 und den Kreislaufstrom 71, die kohlenstoffbasierende Brennstoffe umfassen, zu verbrennen und ein zweites heisses Rauchgas 73 zu erzeugen.

**[0015]** Ein zweiter Expansionsabschnitt 66 ist ausgelegt, das zweite heisse Rauchgas 73 aufzunehmen. Der zweite Expansionsabschnitt 66 weist typischerweise mindestens zwei Stufen auf, die einen zweiten Hochdruckexpander 74, der ausgelegt ist, ein zweites expandiertes Abgas 75 zu erzeugen, umfassen. Der zweite Hochdruckexpander 74 ist mit einem zweiten Niederdruckexpander 76 fluidgekoppelt, der ausgelegt ist, ein zweites endgültiges Abgas 88 und elektrische Energie durch einen Generator 86 zu erzeugen. In einigen Beispielen umfasst der zweite Expansionsabschnitt 66 eine einzelne Stufe.

**[0016]** Der zweite Kompressorabschnitt 64 ist ausgelegt, das zweite endgültige Abgas 88 aufzunehmen, das Kohlendioxid umfasst, und den Kreislaufstrom 71 von dem Hochdruckkompressor 70 zu der zweiten Verbrennungskammer 72 und einen Teilstrom 84 von dem Niederdruckkompressor 68 zu der Eintrittsöffnung des ersten Hochdruckkompressors zu liefern.

**[0017]** Wie in Fig. 1 gezeigt, umfasst das CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem 28 vorteilhafterweise einen Wärmeaustauscher 40 und einen CO<sub>2</sub>-Separator 44. Der CO<sub>2</sub>-Separator 44 kann verschiedene Verfahren anwenden, die in der Technik bekannt sind und die Druckwechsel-Adsorption, chemische Adsorption und Membrantrennung und so weiter umfassen, jedoch nicht darauf beschränkt sind. Um das CO<sub>2</sub> von dem ersten expandierten Abgasstrom 38 abzutrennen, wird das erste expandierte Abgas 38 in den Wärmeaustauscher 40 eingebracht, um die Temperatur zu reduzieren und ein gekühltes erstes expandiertes Abgas 42 zu produzieren. Das gekühlte erste expandierte Abgas 42 wird in den CO<sub>2</sub>-Separator 44 eingebracht, um einen CO<sub>2</sub>-reichen Strom 110 und einen CO<sub>2</sub>-armen Strom 46 zu erzeugen. Der CO<sub>2</sub>-arme Strom 46 umfasst ferner CO, N<sub>2</sub> und nichtumgesetzten Brennstoff. Der CO<sub>2</sub>-arme Strom 46 wird in den Wärmeaustauscher 40 eingebracht, um den Wärmeinhalt des oder aus dem ersten expandierten Abgas 38 zurückzugewinnen und einen erwärmten CO<sub>2</sub>-armen Strom 48 zu erzeugen. Der CO<sub>2</sub>-arme Strom 48 wird in den Niederdruckexpander 22 zur weiteren Expansion und Erzeugung elektrischer Energie eingebracht.

**[0018]** Druckwechsel-Adsorption (PSA) kann zur Abtrennung von Kohlendioxid aus einem Gemisch von Gasen verwendet werden. In PSA-Verfahren können bei einem hohen Partialdruck feste Molekularsiebe Kohlendioxid stärker adsorbieren als andere Gase. Demzufolge wird Kohlendioxid bei erhöhten Drücken aus dem Gemisch von Gasen entfernt, wenn dieses Gemisch durch ein Adsorptionsbett geleitet wird. Die Regenerierung des Betts wird durch Druckablassen und Spülen bewerkstelligt.

**[0019]** Für kritische Arbeitsgänge werden typischerweise mehrere Adsorptionsgefässe zur kontinuierlichen Abtrennung von Kohlendioxid verwendet, wobei ein Adsorptionsbett verwendet wird, während die anderen regeneriert werden.

**[0020]** Membrantrennungstechnologie kann ebenfalls zur Abtrennung von Kohlendioxid aus einem Gasstrom verwendet werden. Membranprozesse sind im Allgemeinen energieeffizienter und leichter handzuhaben als Absorptionsprozesse. Die Membranen, die für die Hochtemperatur-Kohlendioxidabtrennung verwendet werden, umfassen Zeolith- und Keramikmembranen, die selektiv für CO<sub>2</sub> sind. Membranseparatoren arbeiten typischerweise effizienter bei höheren Drücken, und die Verwendung eines Membranseparators, um Kohlendioxid aus dem gekühlten ersten Abgasstrom 38 abzutrennen, wird durch den erhöhten Druck am Auslass des Hochdruckexpanders erleichtert. Der höhere Druck, der zur Abtrennung von CO<sub>2</sub> verfügbar ist, reduziert auch die Grösse des CO<sub>2</sub>-Separators 44, wobei dadurch die Durchführbarkeit und die Wirtschaftlichkeit des CO<sub>2</sub>-Abtrennungsprozesses verbessert wird. Die Gesamteffizienz der Energieerzeugung und der CO<sub>2</sub>-Abtrennung wird weiter verbessert, indem Hochtemperaturmembranen verwendet werden, um CO<sub>2</sub> abzutrennen.

**[0021]** Noch ein weiteres Verfahren, das zur Abtrennung von CO<sub>2</sub> aus dem ersten expandierten Abgas 38 verwendet wird, kann chemische Adsorption von CO<sub>2</sub> unter Verwendung von Aminen umfassen, ist jedoch nicht darauf beschränkt. Das erste expandierte Abgas 38 kann auf eine geeignete Temperatur abgekühlt werden, um chemische Adsorption von Kohlendioxid unter Verwendung von Aminen zu verwenden. Dieses Verfahren basiert auf Alkanolaminen oder anderen Lösemitteln, die die Fähigkeit besitzen, Kohlendioxid bei verhältnismässig niedrigen Temperaturen zu absorbieren, und sich leicht durch Erhöhen der Temperatur der CO<sub>2</sub>-reichen Lösemittel regenerieren lassen. Ein kohlendioxidreicher Strom 110 wird nach der Regenerierung des CO<sub>2</sub>-reichen Lösemittels erhalten. Die Lösemittel, die bei diesem Verfahren verwendet werden, umfassen zum Beispiel Triethanolamin, Monoethanolamin, Diethanolamin, Diisopropanolamin, Diglykolamin und Methyldiethanolamin. Ein weiteres Verfahren zum Abtrennen von CO<sub>2</sub> kann physikalische Adsorption sein. Es kann angemerkt werden, dass alle oder eine Kombination beliebiger der Verfahren, die vorstehend für die CO<sub>2</sub>-Abtrennung beschrieben sind, verwendet werden können, um CO<sub>2</sub> vorteilhaft abzutrennen.

**[0022]** Der Wärmeaustauscher 40 in dem CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem 28 ist typischerweise ein Gas-Gas-Wärmeaustauscher, der zwei gasförmige Ströme handhabt, und zwar den ersten expandierten Abgasstrom 38 und den CO<sub>2</sub>-armen Strom 46. Das Volumen des ersten expandierten Abgasstroms 38 ist höher als das Volumen des CO<sub>2</sub>-armen Stroms 46, der aus dem CO<sub>2</sub>-Separator 44 kommt, während CO<sub>2</sub> aus dem ersten expandierten Abgasstrom 38 in dem CO<sub>2</sub>-Separator 44 isoliert wird. Die Menge an Wärme, die von dem ersten expandierten Abgasstrom 38 in dem Wärmeaustauscher 40 abgegeben wird, kann daher nicht vollständig beim Erwärmen des CO<sub>2</sub>-armen Stroms 46 verwendet werden, und diese überschüssige Wärme kann verwendet werden, um das Lösemittel in dem CO<sub>2</sub>-Separator zu regenerieren, falls ein chemischer Adsorptionsprozess verwendet wird. In einigen Beispielen kann das CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem ferner ein Wasserentfernungssystem umfassen, um Feuchtigkeit aus dem ersten expandierten Abgas 38 zu entfernen, wobei dadurch das Volumen des CO<sub>2</sub>-armen Stroms 46 weiter reduziert wird. Durch das Einfügen der Wasserentfernungseinheit wird daher die überschüssige Wärme, die zur Lösemittelregenerierung zur Verfügung steht, erhöht. Aufgrund dieser effektiven Nutzung der überschüssigen Wärme aus dem Wärmeaustauscher 40 wird die Gesamteffizienz des Energieerzeugungssystems 10 erhöht.

**[0023]** Beispielsweise wird das Oxidationsmittel 24 während des Betriebs auf etwa 2 bis etwa 10 bar in dem ersten Niederdruckkompressor 14 verdichtet und in einem ersten Zwischenkühler 17 abgekühlt. Das Grundprinzip des Zwischenkühlens innerhalb der Verdichtung umfasst das teilweise Verdichten des Gases und dann dessen Abkühlen, bevor die letzte Verdichtung auf den gewünschten Druck ausgeführt wird, zum Beispiel im Hochdruckkompressor 16. Auf diese Weise wird die Verdichtungsarbeit reduziert und somit die Leistung des Kreisprozesses erhöht. Da die existierenden Gasturbinen der leichten Bauart Zwischenkühler umfassen, die zwischen den Verdichtungsstufen angeordnet sind, sind keine weiteren Veränderungen der Turbinenkonstruktion erforderlich, um die Zwischenkühler in derartige Systeme zu inkorporieren. In ähnlicher Weise ist ein zweiter Zwischenkühler 104 zwischen dem zweiten Niederdruckkompressor 68 und dem zweiten Hochdruckkompressor 70 angeordnet, um das verdichtete zweite endgültige Abgas 102 abzukühlen.

**[0024]** Das erste Turbinensystem 11 umfasst ferner einen ersten Abhitzedampferzeuger (hierin nachstehend HRSG) 54. Der erste HRSG 54 ist ausgelegt, den Wärmeinhalt des ersten endgültigen Abgases 52 aus dem ersten Expansionsabschnitt 18 zu verwenden, um einen ersten Teil des Dampfes 56 und ein gekühltes erstes endgültiges Abgas 60 zu erzeugen. Bei einer hohen CO<sub>2</sub>-Abtrennungsrates im CO<sub>2</sub>-Separator 44 ist das gekühlte endgültige Abgas 60, das in die Atmosphäre freigesetzt wird, im Wesentlichen frei von CO<sub>2</sub>, da das CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem 28 ausgelegt ist, den CO<sub>2</sub>-Gehalt des heißen Rauchgases 31, das in der ersten Verbrennungskammer 22 erzeugt wird, abzutrennen. Dieser erste Teil des Dampfes 56, der in dem ersten HRSG 54 erzeugt wird, wird anschließend in einem Dampfkreislauf, wie in Fig. 1 gezeigt, verwendet. In ähnlicher Weise umfasst das zweite Turbinensystem 62 typischerweise einen zweiten Abhitzedampferzeuger (hierin nachstehend HRSG) 90. Der zweite endgültige Abgasstrom 88, der in dem zweiten Turbinensystem 62 erzeugt wird, kann in den zweiten HRSG 90 eingebracht werden. In diesem Beispiel ist der zweite HRSG 90 im Allgemeinen ein HRSG mit geschlossenem Kreislauf, wobei typischerweise kein Strom in die Atmosphäre abgelassen wird. Der Wärmeinhalt des zweiten endgültigen Abgasstroms 88 kann durch einen Wasserstrom 94, um einen zweiten Teil des Dampfes 92 zu produzieren, zurückgewonnen werden. Der erste Teil des Dampfes 56, der in dem ersten HRSG 54 erzeugt wird, und der zweite Teil des Dampfes 92, der in dem zweiten HRSG 90 produziert wird, können in einer Dampfturbine (nicht gezeigt) verwendet werden, um elektrische Energie zu produzieren. Anstelle der gezeigten HRSGs können andere nachgeschaltete Wärmerückgewinnungsverfahren alternativ angewandt werden.

**[0025]** In den verschiedenen Beispielen der Energieerzeugungssysteme, die hierin beschrieben sind, ist das Oxidationsmittel Umgebungsluft. Es versteht sich, dass das verdichtete Oxidationsmittel aus dem ersten Kompressorabschnitt 12 ein beliebiges anderes geeignetes Gas, das Sauerstoff enthält, wie zum Beispiel sauerstoffreiche Luft, sauerstoffangereicherte Luft und/oder reiner Sauerstoff, umfassen kann.

**[0026]** Der erste und zweite Brennstoffstrom 26 und 82 kann ein beliebiges Kohlenwasserstoffgas oder eine beliebige Kohlenwasserstoffflüssigkeit, wie Erdgas, Methan, Naphtha, Butan, Propan, Synthesegas, Diesel, Kerosin, Flugkraftstoff, Brennstoff aus Kohle, Biobrennstoff, sauerstoffangereicherter Kohlenwasserstoff-Rohstoff und Mischungen davon und so weiter, umfassen. In einem Beispiel ist der Brennstoff hauptsächlich Erdgas (NG), und daher können das erste heiße Rauchgas 31 aus der ersten Verbrennungskammer 22 und das zweite heiße Rauchgas 73 aus der zweiten Verbrennungskammer 72 Wasser, Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Kohlenmonoxid (CO), Stickstoff (N<sub>2</sub>), unverbrannten Brennstoff und andere Verbindungen umfassen.

**[0027]** Der gekühlte zweite endgültige Abgasstrom 96 aus dem zweiten HRSG 90 wird im Allgemeinen in einen Abgaskühler oder Feuchtigkeitsseparator 98 eingebracht, um das Wasser, das in dem Verbrennungsprozess in der zweiten Verbrennungskammer 72 gebildet wird, abzutrennen. Der Abgaskühler 98 kann verwendet werden, um die Eintrittsbedingungen, insbesondere die Temperatur, des Kompressors 68 zu steuern. Der Austrittsstrom 100 aus dem Feuchtigkeitsseparator 98 umfasst typischerweise mindestens CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>. Der Austrittsstrom 100 wird im Allgemeinen in dem zweiten Kompressorabschnitt 64 verdichtet, um einen verdichteten Strom 102 zu erzeugen. Im Betrieb kann während der Anfangsphase des Betriebs nach dem Inbetriebsetzen die Konzentration von CO<sub>2</sub> in dem verdichteten Strom 102 unwesentlich sein, und der gesamte Strom 102 kann daher zurück in die zweite Verbrennungskammer 72 als ein Kreislaufstrom 71 zusammen mit dem zweiten Teil des verdichteten Oxidationsmittels 36 geführt werden. Diese Kreislaufführung erhöht im Allgemeinen die CO<sub>2</sub>-Konzentration in dem verdichteten Strom 102. Wenn die CO<sub>2</sub>-Konzentration in dem verdichteten Strom 102 ein gewünschtes Niveau erreicht, kann ein Teilstrom 84 in den ersten Hochdruckkompressor 16 eingebracht

werden. Eine Steuerventilkonfiguration (nicht gezeigt) kann eingesetzt werden, um die Abzweigung und Einbringung des Teilstroms 84 in die erste Verbrennungskammer 22 zu erleichtern. Zum Beispiel kann ein Steuerventil an der Rohrleitung, die den Teilstrom befördert, angeordnet und das Betreiben des Steuerventils mit einem Online-Gerät oder Sensor, der die Konzentration von CO<sub>2</sub> in dem verdichteten Strom 102 misst, verbunden sein. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration in dem ersten heissen Rauchgas 31, das aus der ersten Verbrennungskammer 22 austritt, wird daher durch Erhöhen der Konzentration von CO<sub>2</sub> in dem zweiten Turbinensystem durch Steuern des Kreislaufstroms 71 und des Teilstroms 84 maximiert.

**[0028]** Wie in Fig. 1 dargestellt, kann eine beträchtliche Kohlendioxidisolation erreicht werden. Im Fall von grossen CO<sub>2</sub>-Separatoren 44 wird das erste endgültige Abgas 52, das von der ersten Verbrennungskammer 22 erzeugt wird, im Wesentlichen von Kohlendioxid gereinigt, und der gekühlte erste endgültige Abgasstrom 60, der in die Atmosphäre abgelassen wird, setzt typischerweise beträchtlich reduzierte Mengen von Kohlendioxid frei, verglichen mit vergleichbarer Technologie ohne CO<sub>2</sub>-Abscheidung. Das Kohlendioxid, das in der zweiten Verbrennungskammer 72 produziert wird, kann in dem Kreislaufstrom 71 konzentriert werden. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt in dem Teilstrom 84 zusammen mit dem CO<sub>2</sub>, das in der ersten Verbrennungskammer 22 erzeugt wird, wird in dem CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem 28 abgetrennt, und der CO<sub>2</sub>-Strom 110 kann segregiert oder in Abhängigkeit von der Nachfrage nach Kohlendioxid auf dem Handelsmarkt verkauft werden. Der CO<sub>2</sub>-reiche Strom 110, der in dem CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem erzeugt wird, kann in einem Kompressor 112 verdichtet werden, bevor er zur weiteren Verwendung verteilt wird.

**[0029]** Fig. 2 veranschaulicht ein weiteres beispielhaftes Energieerzeugungssystem 140, wobei die zwei Turbinensysteme 11, 62 durch einen gemeinsamen Zwischenkühler 146 zwischen den Kompressorabschnitten 12, 64 verbunden sind. Das beispielhafte Energieerzeugungssystem 140 umfasst den gemeinsamen Zwischenkühler 146, der mit dem ersten Kompressorabschnitt 12 und dem zweiten Kompressorabschnitt 64 fluidgekoppelt ist. Ein Strom von verdichtetem Oxidationsmittel 142 aus dem ersten Niederdruckkompressor 14 wird zusammen mit dem Teilstrom 148 aus dem zweiten Niederdruckkompressor 68 gemischt und in den gemeinsamen Zwischenkühler 146 eingebracht. Der gemeinsame Zwischenkühler 146 ist ausgelegt, das verdichtete Oxidationsmittel 142 und den Teilstrom 148 abzukühlen und einen ersten gemischten Strom 144, der in den ersten Hochdruckkompressor 16 eingebracht wird, und einen zweiten gemischten Strom 150, der in den zweiten Hochdruckkompressor 70 eingebracht wird, zu erzeugen. Der erste Hochdruckkompressor 16 erzeugt einen ersten verdichteten gemischten Strom 34, der in die erste Verbrennungskammer 22 eingebracht wird, und der zweite Hochdruckkompressor 70 erzeugt einen zweiten verdichteten gemischten Strom oder den Kreislaufstrom 71, der in die zweite Verbrennungskammer 72 eingebracht wird. In einigen Beispielen kann die Wärme, die von den Zwischenkühlern freigesetzt wird, verwendet werden, um den CO<sub>2</sub>-Abtrennungsprozess, zum Beispiel die CO<sub>2</sub>-Entfernung mit Hilfe von Aminen, zu betreiben, oder für einen anderen Wärmerückgewinnungszyklus, zum Beispiel einen organischen Rankine-Zyklus.

**[0030]** Das Energieerzeugungssystem, das in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben ist, verwendet vorteilhafterweise die Positionierung des CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystems, um das CO<sub>2</sub>, das in dem Verbrennungsprozess erzeugt wird, effektiv abzutrennen. Wie in Fig. 1 gezeigt, wird das CO<sub>2</sub> nach der Verbrennung entfernt, oder insbesondere aus dem Rauchgas bei einem Druck in der Mitte des Gasturbinenexpanders extrahiert. Es ist vorteilhaft, das CO<sub>2</sub> aus einem unter Druck stehenden Rauchgas zu entfernen, da die treibenden Kräfte für die Abtrennung zunehmen und die Grösse der Ausrüstung und die Kosten abnehmen. Je höher der Extraktionsdruck des Rauchgases, desto höher ist jedoch seine Extraktionstemperatur. Aufgrund von Materialbeschränkungen ist es vorteilhaft, das CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem 28 bei reduzierten Temperaturen von etwa 700 °C bis etwa 1000 °C, verglichen mit dem Auslass der Verbrennungsanlage, in Abhängigkeit von der Temperatur des Fluids 38, zu konzipieren. Obwohl der Druck, der in dem heissen Rauchgas 31 unmittelbar nach der Verbrennungskammer 22 verfügbar ist, höher ist als der Druck des ersten expandierten Abgases 38, ist die Abwägung für die Positionierung des CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystems in der Mitte des Expansionsweges die hohe Temperatur von etwa 1300 °C des heissen Rauchgases 31. In Gasturbinen der leichten Bauart, wie in Fig. 1 gezeigt, führen mehrere Verdichtungs- und Expansionsstufen zu einem hohen Verdichtungsverhältnis. Da der Druck, der in dem Kompressorabschnitt erzeugt wird, im Wesentlichen hoch ist, ist daher der Druck, der in der Mitte des Expanderabschnitts verfügbar ist, hinreichend hoch, um ein kostengünstiges und effizientes CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem zu entwickeln.

**[0031]** Die Energieerzeugungssysteme, die in den vorstehenden Abschnitten beschrieben sind, verbinden auch vorteilhafterweise die zwei Turbinensysteme, wie in den Fig. 1–2 gezeigt. Die Gasturbinen sind durch das Extrahieren der Arbeitsmedien nach den Niederdruckkompressoren verbunden, vorzugsweise nachdem sie in einem gemeinsamen Zwischenkühler (Fig. 2) oder separaten Zwischenkühlern (Fig. 1) abgekühlt wurden. In den existierenden Gasturbinen der leichten Bauart existieren die Öffnungen für die Extraktion und Wiedereinspeisung der Arbeitsmedien in der Mitte des Verdichtungsweges bereits, wobei die Öffnungen verwendet werden können, um die Modifikationen beträchtlich zu reduzieren, die an den Turbinen erforderlich sind, um das Verbinden der zwei Turbinensysteme, wie in den Fig. 1–2 gezeigt, zu inkorporieren. Das Verbinden der Turbinensysteme bei moderaten Drücken und niedrigen Temperaturen (die in der Mitte des Verdichtungsweges verfügbar sind) minimiert die Effizienzverluste und den Bedarf an teuren Materialien aufgrund der moderaten Fluidtemperaturen.

**[0032]** Wie in Fig. 2 gezeigt, fördert das Mischen des Oxidationsmittels und des Teilstroms vor der fortgesetzten Verdichtung in den Hochdruckkompressoren einen besseren Mischprozess. Das Erfordernis einer beliebigen zusätzlichen Mischvorrichtung wird daher vermieden, wobei die Mischvorrichtung typischerweise so gestaltet ist, dass sie eine homo-

gene Zusammensetzung und Temperatur der Arbeitsmedien fördert und die Auswirkung des Fluidübergangs zwischen den Gasturbinen auf die Kompressorleistung minimiert.

**[0033]** Fig. 3 veranschaulicht ein beispielhaftes, nicht beanspruchtes Energieerzeugungssystem 160 zur prinzipiellen Erläuterung, wobei ein CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem 162 in der Mitte zwischen den Verdichtungsstufen des ersten und zweiten Turbinensystems angeordnet ist. Wie in Fig. 3 gezeigt, ist das CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem 162 zwischen dem ersten Kompressorabschnitt 12 und dem zweiten Kompressorabschnitt 64 angeordnet. Das CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem 162 ist ausgelegt, den Teilstrom 174 aus dem zweiten Zwischenkühler 104 aufzunehmen und einen CO<sub>2</sub>-armen Strom 168 und einen CO<sub>2</sub>-reichen Strom 176 zu erzeugen. Ein erster Teil des Oxidationsmittels 164 aus dem ersten Zwischenkühler 17 wird mit dem CO<sub>2</sub>-armen Strom 168 gemischt und in den ersten Hochdruckkompressor 16 eingebracht, um den ersten verdichteten gemischten Strom 34 zu erzeugen. Ein zweiter Teil des Oxidationsmittels 166 aus dem ersten Zwischenkühler 17 wird mit einem zweiten Teilstrom 106 aus dem zweiten Zwischenkühler 104 gemischt und in den zweiten Hochdruckkompressor 70 eingebracht, um einen zweiten gemischten verdichteten Strom oder Kreislaufstrom 71 zu erzeugen. Die Zwischenkühler 17 und 104 können gegebenenfalls auch direkt vor den Eintrittsöffnungen der entsprechenden Hochdruckkompressoren 16 und 70 platziert werden.

**[0034]** Das CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem 162 umfasst einen CO<sub>2</sub>-Separator 170, um den CO<sub>2</sub>-reichen Strom 176 und den CO<sub>2</sub>-armen Strom 168 zu erzeugen. Das Abtrennen von CO<sub>2</sub> aus dem Teilstrom 174 hat verschiedene Vorteile. Der Druck, der am Auslass des Niederdruckkompressors 68 verfügbar ist, ist ausreichend, um einen kostengünstigen und effizienten CO<sub>2</sub>-Separator zu entwickeln. Das Volumen des Teilstroms 174, das in das CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem geschickt wird, ist verhältnismässig kleiner. Die Kapitalkosten für die Installation des CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystems 162 in der Mitte der Kompressorabschnitte erfordert daher weniger Kapitalkosten verglichen mit den CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystemen, die in den Fig. 1–2 gezeigt sind. Des Weiteren können vor dem Mischen des frischen Oxidationsmittelstroms 164 mit dem CO<sub>2</sub>-reichen zweiten Teilstrom 106 beide Ströme vorteilhafterweise unter Verwendung des ersten Zwischenkühlers 17 bzw. des zweiten Zwischenkühlers 104 gekühlt werden. Die Wärme, die von den Zwischenkühlern ausgestossen wird, kann verwendet werden, um die Effizienz der Wärmerückgewinnungssysteme, zum Beispiel Dampfproduktion, zu steigern oder den CO<sub>2</sub>-Abtrennungsprozess zu betreiben. Der zweite Zwischenkühler 104 kann ebenfalls verwendet werden, um den Teilstrom 174 auf die Arbeitstemperatur des CO<sub>2</sub>-Separators 44 abzukühlen.

**[0035]** Fig. 4 veranschaulicht ein weiteres beispielhaftes, nicht beanspruchtes Energieerzeugungssystem 200 zur prinzipiellen Erläuterung, wobei das CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem 162 in der Mitte zwischen den Verdichtungsstufen des ersten und zweiten Turbinensystems angeordnet ist. Das beispielhafte Energieerzeugungssystem 200 umfasst einen gemeinsamen Zwischenkühler 201, der zwischen dem CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem 162 und dem ersten Kompressorabschnitt 12 angeordnet ist. Das CO<sub>2</sub>-arme Gas 206 aus dem CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem 162 wird mit dem verdichteten Oxidationsmittelstrom 202 aus dem ersten Niederdruckkompressor 14 gemischt und in den gemeinsamen Zwischenkühler 201 eingebracht. Der gekühlte gemischte Strom, der aus dem gemeinsamen Zwischenkühler 201 austritt, wird aufgespalten, und ein erster gemischter Strom 210 wird in den ersten Hochdruckkompressor 16 gesandt, und der zweite gemischte Strom 208 wird in den zweiten Hochdruckkompressor 70 gesandt. Die Verwendung eines gemeinsamen Zwischenkühlers reduziert die Kosten des Energieerzeugungssystems 200.

**[0036]** Alle Beispiele, die in den Fig. 1–4 veranschaulicht sind, können ferner eine Zwischenverbrennungsanlage (nicht gezeigt) umfassen, wobei die Zwischenverbrennungsanlage zwischen dem zweiten Hochdruckexpander 74 und dem zweiten Niederdruckexpander 76 angeordnet ist. Die Zwischenverbrennungsanlage hilft beim Erhöhen der Leistung, die bei einem gegebenen Verdichtungsverhältnis möglich ist. Die Temperatur des zweiten heissen Rauchgases 73 nimmt ab, nachdem es die Expansion in dem zweiten Hochdruckexpander 74 durchlaufen hat. Da ein Teil des zweiten expandierten Gases 75 in die Zwischenverbrennungsanlage gesandt wird, ist die Temperatur des Austrittsstroms von der Zwischenverbrennungsanlage aufgrund des Verbrennungsprozesses in der Zwischenverbrennungsanlage erhöht. Der heisse Austrittsstrom aus der Zwischenverbrennungsanlage wird in den Niederdruckexpander 76 zur weiteren Expansion eingebracht, um elektrische Energie zu erzeugen, und aufgrund dieses Temperaturanstiegs des Austrittsstroms der Zwischenverbrennungsanlage wird die Gesamtleistung gesteigert.

**[0037]** Der Energieerzeugungszklus, der in den vorstehenden Abschnitten beschrieben ist, hat verschiedene Vorteile. Das CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem wird vorteilhafterweise zwischen dem Niederdruck- und dem Hochdruckexpander angeordnet, wie in den Fig. 1–2 gezeigt. Das erste expandierte Abgas aus dem Hochdruckexpander weist typischerweise eine reduzierte Temperatur auf, verglichen mit dem Verbrennungsanlagenauslass, zum Beispiel etwa 700 °C bis etwa 1000 °C, jedoch noch einen Druck, der hinreichend ist, um eine hohe Abtrennungseffizienz von CO<sub>2</sub> in dem CO<sub>2</sub>-Separator bereitzustellen, falls ein Membranseparator oder ein PSA-Verfahren verwendet wird. Die Grösse und die Kapitalkosten für die Installation des CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystems werden ebenfalls reduziert, da das erste expandierte Abgas einen hohen Druck von etwa 2 bar bis etwa 30 bar und eine reduzierte Temperatur, verglichen mit dem Verbrennungsanlagenauslass, aufweist. Das Energieerzeugungssystem, das hierin beschrieben ist, ist ausgelegt, eine wesentliche Isolation von CO<sub>2</sub> zu erzielen, da das gesamte CO<sub>2</sub>, das von den Verbrennungskammern erzeugt wird, in das CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem eingebracht wird. In den Beispielen, bei denen zwei Turbinensysteme enthalten sind, werden die Verbrennungsprodukte aus dem zweiten Turbinensystem in einem geschlossenen Kreislauf rezirkuliert, wie oben beschrieben, um vor dem Einbringen in die erste Verbrennungskammer das optimale Konzentrationsniveau von CO<sub>2</sub> aufzubauen. Daher ist das Abgas, das von einem derartigen Energieerzeugungssystem in die Atmosphäre freigesetzt wird, im Wesentlichen frei von CO<sub>2</sub>.

**[0038]** Die Positionierung des CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystems in der Mitte des Verdichtungsweges, wie in Fig. 3 gezeigt, reduziert die Kapitalkosten des CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystems, wie vorher beschrieben. Das CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem verwendet in diesem Beispiel auch vorteilhafterweise die Zwischenkühler, um den Teilstrom für eine effiziente CO<sub>2</sub>-Abtrennung abzukühlen, wobei dadurch die Gesamteffizienz des Energiezyklus erhöht wird.

**[0039]** Die Energieerzeugungssysteme, die vorstehend beschrieben sind, können die existierenden Ausführungen der Turbinen der leichten Bauart für die Extraktion und Wiedereinspeisung des Arbeitsmediums in der Mitte des Verdichtungsweges verwenden. Dies reduziert den Aufwand für die Neugestaltung und die Kosten der Turbinensysteme beträchtlich. Die Effizienz und die Wirksamkeit des Verbindens der zwei Turbinensysteme steigt aufgrund des Verbindens der Gasturbinen bei geringeren Drücken und Temperaturen, was zu reduzierten Materialkosten führt.

**[0040]** Die Energieerzeugungssysteme, die CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -isolation integrieren, zeigen typischerweise eine wesentliche Reduktion (im Bereich von etwa 10%-Punkten) der Gesamtzykluseffizienz, verglichen mit einem Energiezyklus ohne CO<sub>2</sub>-Abtrennung. Die Energieerzeugungssysteme, die vorstehend beschrieben sind, zeigen jedoch eine viel kleinere Reduktion der Gesamtzykluseffizienz aus den folgenden Gründen: Die Positionierung des CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystems in der Mitte des Expansionsabschnitts, wobei dadurch die Abtrennungseffizienz von CO<sub>2</sub> erhöht wird, indem ein im Wesentlichen hoher Druck selbst am Auslass des Hochdruckexpanders verwendet wird, hilft, den Effizienzverlust bei Verwendung von CO<sub>2</sub>-Abscheidung innerhalb des Energiezyklus zu reduzieren. Des Weiteren erhöht die Verwendung einer Zwischenverbrennungsanlage und das Verwenden der überschüssigen Wärme, die in dem Gas-Gas-Austauscher erzeugt wird, in dem CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem weiter die Effizienz des Zyklus. Der Gesamtenergieverlust, der mit Energieerzeugungssystemen mit CO<sub>2</sub>-Abtrennung, die vorstehend beschrieben sind, verbunden ist, ist daher weitaus geringer als bei herkömmlichen Energiezyklen mit CO<sub>2</sub>-Abtrennung.

**[0041]** Obwohl nur bestimmte Merkmale der Erfindung hierin veranschaulicht und beschrieben worden sind, werden dem Fachmann im Rahmen der Patentansprüche viele Modifikationen und Veränderungen einfallen. Es versteht sich daher, dass die angehängten Ansprüche dazu gedacht sind, alle derartigen Modifikationen und Veränderungen, die in den wahren Erfindungsgedanken fallen, einzuschliessen.

**[0042]** Wortliste für die Abkürzungen in den Fig. 1–4

HX	= Wärmeaustauscher
LPC	= Niederdruckkompressor
HPC	= Hochdruckkompressor
IC	= Zwischenkühler
cb	= Verbrennungskammer
HPT	= Hochdruckexpander
LPT	= Niederdruckexpander
G	= Generator
HRSG	= Abhitzedampferzeuger

### Patentansprüche

1. Energieerzeugungssystem (10), umfassend:
  - ein erstes Turbinensystem (11), umfassend:
    - einen ersten Kompressorabschnitt (12), der mindestens zwei Stufen umfasst, wobei die mindestens zwei Stufen einen ersten Niederdruckkompressor (14) und einen ersten Hochdruckkompressor (16) umfassen, welche fluidgekoppelt sind, wobei der erste Kompressorabschnitt (12) ausgelegt ist, einen ersten Teil eines verdichteten Oxidationsmittels (34) und einen zweiten Teil eines verdichteten Oxidationsmittels (36) bereitzustellen;
    - eine erste Verbrennungskammer (22), die ausgelegt ist, den ersten Teil des verdichteten Oxidationsmittels (34) und einen ersten Brennstoffstrom (26), der kohlenstoffbasierende Brennstoffe umfasst, zu verbrennen und ein erstes heisses Rauchgas (31) zu erzeugen;
    - einen ersten Expansionsabschnitt (18) mit einer Eintrittsöffnung zum Aufnehmen des ersten heissen Rauchgases (31), der mindestens zwei Stufen umfasst, wobei die mindestens zwei Stufen einen ersten Hochdruckexpander (20) umfassen, der ausgelegt ist, ein erstes expandiertes Abgas (38) zu erzeugen, das reich an CO<sub>2</sub> ist, wobei der erste Hochdruckexpander (20) fluidgekoppelt ist mit einem ersten Niederdruckexpander (22), der ausgelegt ist, ein erstes endgültiges Abgas (52) und elektrische Energie zu erzeugen; und



ein CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem (28), das fluidgekoppelt ist mit dem Hochdruckexpander (20), das ausgelegt ist, das erste expandierte Abgas (38) aus dem ersten Hochdruckexpander (20) aufzunehmen und ein CO<sub>2</sub>-armes Gas (48) bereitzustellen und dann in den ersten Niederdruckexpander (22) einzuspeisen; und

ein zweites Turbinensystem (62), umfassend:

einen zweiten Kompressorabschnitt (64), der mindestens zwei Stufen umfasst, wobei die mindestens zwei Stufen einen zweiten Niederdruckkompressor (68) umfassen, der mit einem zweiten Hochdruckkompressor (70) fluidgekoppelt ist, wobei der Hochdruckkompressor (70) ausgelegt ist, den zweiten Teil des verdichteten Oxidationsmittels (36) aufzunehmen;

eine zweite Verbrennungskammer (72), die ausgelegt ist, einen zweiten Brennstoffstrom (82), der kohlenstoffbasierende Brennstoffe umfasst, zu verbrennen und ein zweites heißes Rauchgas (73) zu erzeugen; und

einen zweiten Expansionsabschnitt (66), der ausgelegt ist, das zweite heiße Rauchgas (73) aufzunehmen und ein zweites endgültiges Abgas (88) und elektrische Energie zu erzeugen;

wobei der zweite Kompressorabschnitt (64) ausgelegt ist, das zweite endgültige Abgas (88), das Kohlendioxid umfasst, aufzunehmen und einen Kreislaufstrom (71) aus dem zweiten Hochdruckkompressor (70) in die zweite Verbrennungskammer (72) und einen Teilstrom (84) aus dem zweiten Niederdruckkompressor (68) in den ersten Hochdruckkompressor (16) zu fördern.

2. Energieerzeugungssystem nach Anspruch 1, wobei das CO<sub>2</sub>-Abtrennungssystem (28) einen Wärmeaustauscher (40), der ausgelegt ist, Wärme aus dem ersten expandierten Abgas (38) zurückzugewinnen und ein gekühltes erstes expandiertes Abgas (42) zu erzeugen, und einen Kohlendioxidseparator (44), der ausgelegt ist, das erste expandierte Abgas (42) aufzunehmen und einen kohlendioxidarmen Strom (46) zu erzeugen, umfasst.
3. Energieerzeugungssystem nach Anspruch 2, wobei der Wärmeaustauscher (40) einen Kreuzaustauscher umfasst, der ausgelegt ist, Wärme aus dem ersten expandierten Abgas (38) zurückzugewinnen, im Austausch mit dem kohlendioxidarmen Strom (46) aus dem Kohlendioxidseparator (44).
4. Energieerzeugungssystem nach Anspruch 2 oder 3, wobei der Kohlendioxidseparator (44) eine Membraneinheit umfasst.
5. Energieerzeugungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste und zweite Brennstoffstrom (26, 82) Erdgas umfasst.
6. Energieerzeugungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner einen ersten Abhitzedampferzeuger (54), der ausgelegt ist, die Wärme aus dem ersten endgültigen Abgas (52) zurückzugewinnen und einen ersten Teil des Dampfes (56) zu erzeugen, und einen zweiten Abhitzedampferzeuger (90), der ausgelegt ist, Wärme aus dem zweiten endgültigen Abgas (88) zurückzugewinnen und einen zweiten Teil des Dampfes (92) zu erzeugen, umfasst.
7. Energieerzeugungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner mindestens einen Zwischenkühler umfasst.
8. Energieerzeugungssystem nach Anspruch 7, wobei der mindestens eine Zwischenkühler einen gemeinsamen Zwischenkühler (146) umfasst, der zwischen dem ersten Kompressorabschnitt (12) und dem zweiten Kompressorabschnitt (64) angeordnet und mit dem ersten und zweiten Niederdruckkompressor (14, 68) und dem ersten und zweiten Hochdruckkompressor (16, 70) fluidgekoppelt ist.
9. Energieerzeugungssystem nach Anspruch 7, wobei der mindestens eine Zwischenkühler einen ersten Zwischenkühler (17), der zwischen dem ersten Niederdruckkompressor (14) und dem ersten Hochdruckkompressor (16) angeordnet ist, und einen zweiten Zwischenkühler (104), der zwischen dem zweiten Niederdruckkompressor (68) und dem zweiten Hochdruckkompressor (70) angeordnet ist, umfasst.
10. Energieerzeugungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste endgültige Abgas (52) im Wesentlichen frei von CO<sub>2</sub> ist.

FIG. 1

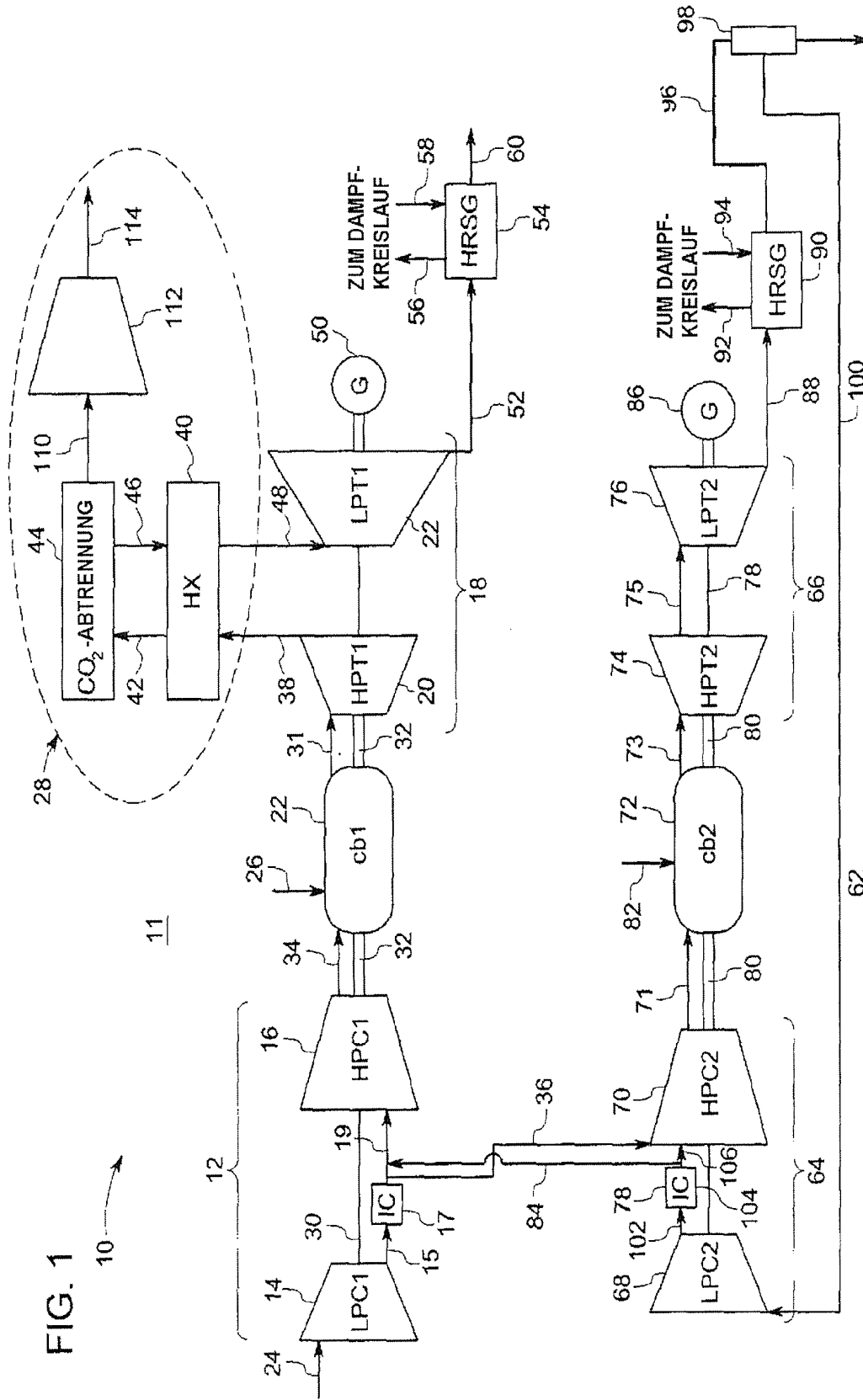
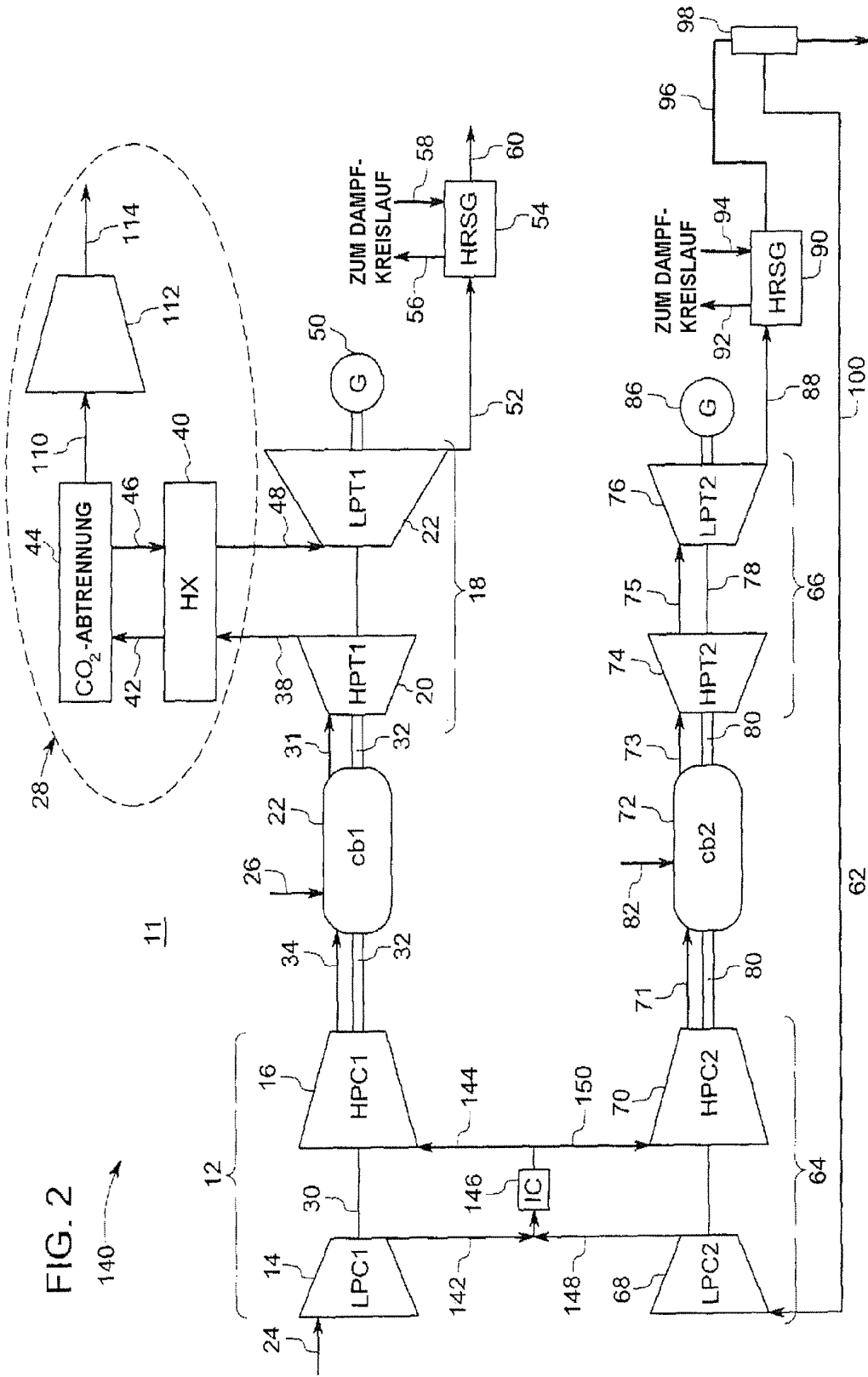


FIG. 2  
140



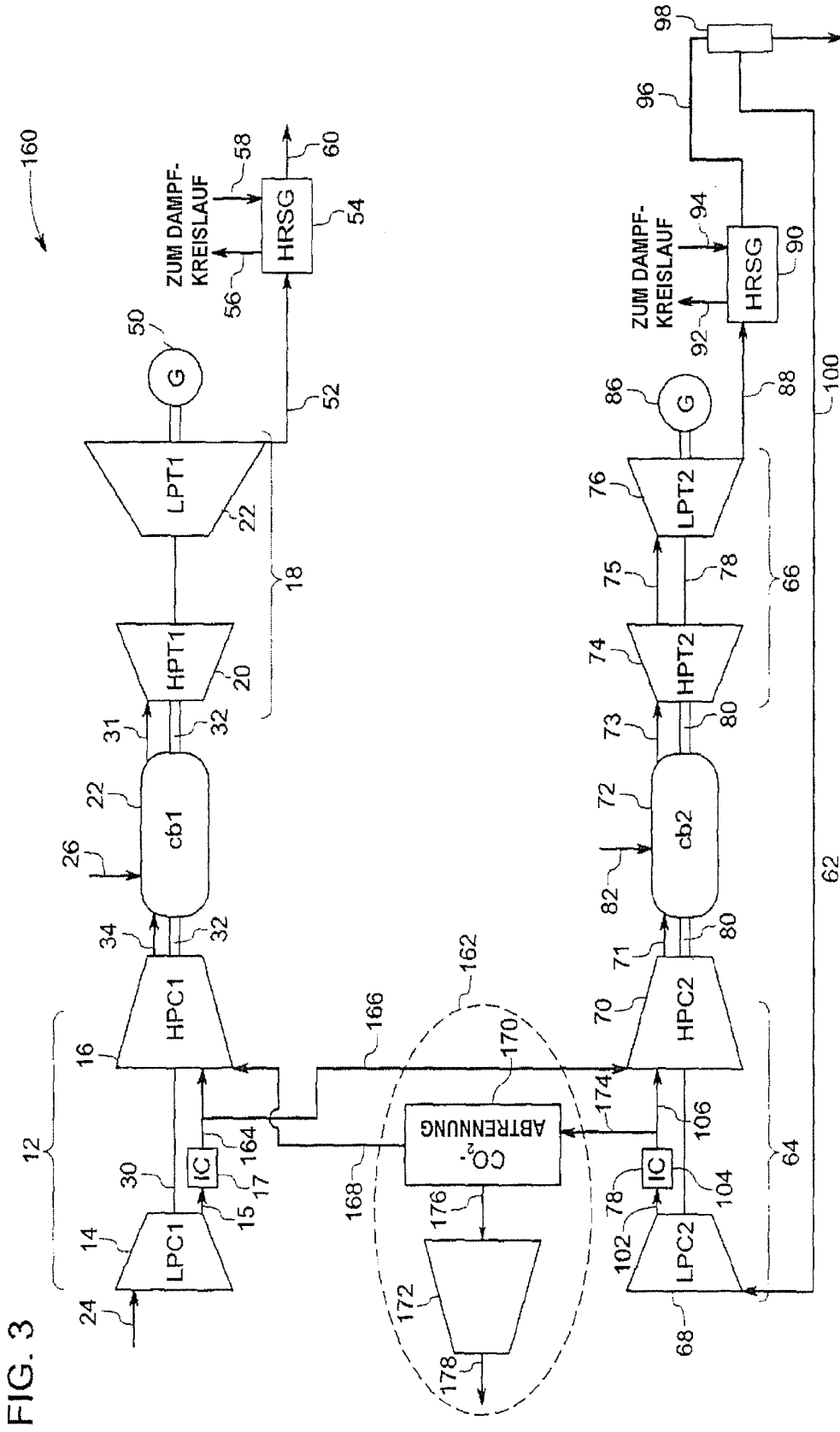


FIG. 3

