



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der  
 (87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2014/077156**  
 in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)  
 (21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2013 005 404.3**  
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2013/079944**  
 (86) PCT-Anmeldetag: **05.11.2013**  
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **22.05.2014**  
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
 in deutscher Übersetzung: **30.07.2015**

(51) Int Cl.: **H01M 8/04 (2006.01)**  
**F01K 7/22 (2006.01)**  
**F01K 23/10 (2006.01)**  
**F02C 6/00 (2006.01)**  
**F02C 6/18 (2006.01)**  
**F02C 7/224 (2006.01)**  
**H01M 8/00 (2006.01)**  
**H01M 8/12 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**2012-249733**      **13.11.2012**      **JP**

(74) Vertreter:  
**Patentanwälte Henkel, Breuer & Partner, 80333**  
**München, DE**

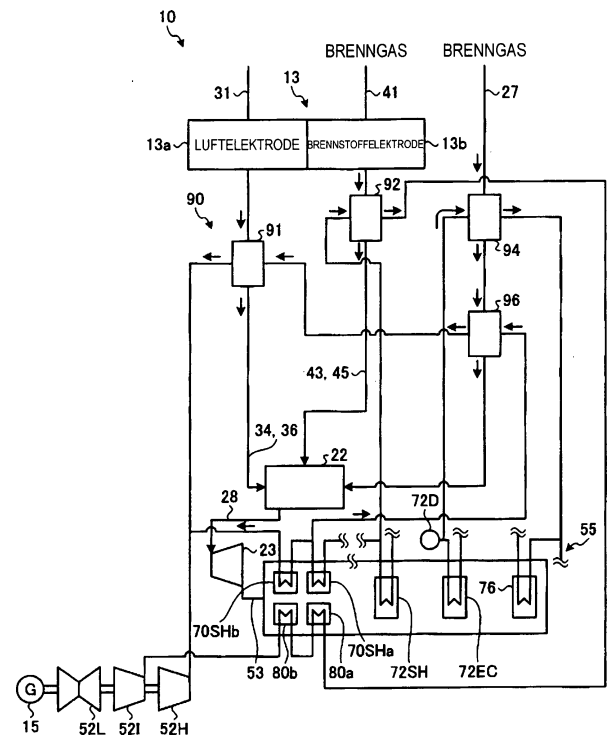
(71) Anmelder:  
**Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd.,**  
**Yokohama-shi, Kanagawa, JP**

(72) Erfinder:  
**Fujita, Kazunori, Tokyo, JP; Nakamoto, Yukimasa,**  
**Tokyo, JP**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Stromerzeugungssystem und Verfahren zum Betreiben eines Stromerzeugungssystems**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung nimmt sich des Problems der Schaffung eines Stromerzeugungssystems, das in der Lage ist, die Wärme von Abluft, die aus einer SOFC ausgestoßen wird, effektiv zu nutzen, und außerdem der Schaffung eines Verfahrens zum Betreiben des Stromerzeugungssystems an. Das Stromerzeugungssystem weist eine Gasturbine, eine Brennstoffzelle, eine Abluft-Zirkulationsleitung, eine Zufuhrleitung für ausgeführtes Brenngas, eine Turbine, einen Abwärme-Rückgewinnungskessel und mindestens einen Abluft-Wärmetauscher auf. Die Turbine ist mit einer Hochdruckturbine, einer Zwischendruckturbine und einer Niederdruckturbine ausgestattet. Der Abwärme-Rückgewinnungskessel ist mit einem Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus, einem Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus und einem Niederdruck-Dampfzirkulationsmechanismus ausgestattet. Der Abluft-Wärmetauscher tauscht Wärme zwischen dem Dampf, der Wärme mit dem Abgas im Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus oder im Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus austauscht und zur Turbine strömt, und dem Abgas aus, das durch die Abluft-Zirkulationsleitung strömt, wodurch die Temperatur des Dampfes erhöht wird und die Temperatur des Abgases gesenkt wird.



**Beschreibung****KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG**

## TECHNISCHES GEBIET

## Technisches Problem

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Stromerzeugungssystem, das eine Festoxidbrennstoffzelle, eine Gasturbine und eine Dampfturbine kombiniert, und ein Verfahren zum Betreiben des Stromerzeugungssystems.

**[0006]** Das oben beschriebene herkömmliche Stromerzeugungssystem stößt Luft, die auf eine hohe Temperatur erwärmt worden ist, als Abluft aus der SOFC aus. In Patentliteratur 1 werden verschiedene Wärmeaustausche mit der Abluft durchgeführt, um die Wärme in der Abluft zurückzugewinnen. Hier ist eine Verbesserung des Wirkungsgrads für das Stromerzeugungssystem gewünscht, was die Motivation für eine Verbesserung des Verfahrens darstellt, in dem die Abluft verwendet wird.

## STAND DER TECHNIK

**[0002]** Eine Festoxidbrennstoffzelle (im Folgenden als SOFC bezeichnet) ist bekanntlich eine hocheffiziente Brennstoffzelle mit vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten. Eine solche SOFC weist eine hohe Betriebstemperatur auf, um die Ionenleitfähigkeit zu erhöhen. Somit kann Luft, die aus einem Verdichter einer Gasturbine ausgestoßen worden ist, als die Luft verwendet werden, die zu einer Lufterlektrode geliefert wird (als Oxidationsmittel). Die SOFC macht es auch möglich, nicht genutzten Hochtemperatur-Kraftstoff als Kraftstoff für einen Brenner der Gasturbine zu verwenden.

**[0007]** Um das oben beschriebene Problem zu lösen, ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung die Schaffung eines Stromerzeugungssystems und eines Verfahrens zum Betreiben des Stromerzeugungssystems, mit denen eine effizientere Nutzung der Wärme der Abluft, die aus der SOFC ausgestoßen worden ist, erreicht wird.

## Lösung für das Problem

**[0003]** So wurden beispielsweise, wie in der nachstehend aufgeführten Patentliteratur 1 beschrieben, verschiedene Kombinationen einer SOFC, einer Gasturbine und einer Dampfturbine als Stromerzeugungssystem vorgeschlagen, das eine hocheffiziente Stromerzeugung erreicht. Das in Patentliteratur 1 beschriebene kombinierte System ist ausgestattet mit einer SOFC, einem Gasturbinenbrenner, der abgeführtes Brenngas und Abluft verbrennt, die aus der SOFC ausgestoßen bzw. ausgelassen wird, und mit einer Gasturbine mit einem Verdichter, der Luft verdichtet, welche der SOFC zugeführt wird.

**[0008]** Ein Stromerzeugungssystem der Erfindung, mit dem das oben beschriebene Ziel erreicht werden soll, weist Folgendes auf: Eine Gasturbine mit einem Verdichter und einem Brenner; eine Brennstoffzelle mit einer Lufterlektrode und einer Brennstoffelektrode; eine Abluft-Zirkulationsleitung, die Abluft, die aus der Brennstoffzelle ausgestoßen wird, zur Gasturbine liefert; eine Zufuhrleitung für abgeführtes Brenngas, die abgeführtes Brenngas, das aus der Brennstoffzelle ausgestoßen wird, zur Gasturbine liefert; eine Turbine, die mit einer Hochdruckturbine, einer Zwischendruckturbine und einer Niederdruckturbine ausgestattet ist; einen Abhitze-Dampferzeuger, der mit Folgendem ausgestattet ist: Einem Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus, der Wärme aus Abgas zurückgewinnt, das aus der Gasturbine ausgestoßen wird, um Dampf zu erzeugen und erzeugten Dampf zur Hochdruckturbine zu liefern, einem Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus, der Wärme aus Abgas zurückgewinnt, das aus der Gasturbine ausgestoßen wird, um Dampf mit einem Druck zu erzeugen, der niedriger ist als der des Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus, und erzeugten Dampf zur Zwischendruckturbine liefert, und einem Niederdruck-Dampfzirkulationsmechanismus, der Wärme aus Abgas zurückgewinnt, das aus der Gasturbine ausgestoßen wird, um Dampf mit einem Druck zu erzeugen, der niedriger ist als der des Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus, und erzeugten Dampf zur Niederdruckturbine liefert; und mindestens einen Abluft-Wärmetauscher, der einen Wärmeaustausch zwischen Abgas, das durch die Abluft-Zirkulationsleitung strömt, und Dampf, der einen Wärmeaustausch mit dem Abgas im Hochdruck-Dampfzirkulationsme-

**[0004]** Außerdem offenbart Patentliteratur 2 ein Verfahren, in dem Abluft, die aus der SOFC ausgestoßen worden ist, mit Luft, die der SOFC zugeführt werden soll, einen Wärmeaustausch durchführt, gefolgt von einem Wärmeaustausch mit Leitungen eines Abhitze-Dampferzeugers, so dass die Wärme der Abluft zur Stromerzeugung des Abhitze-Dampferzeugers verwendet wird.

## LISTE DER ENTGEGENHALTUNGEN

## Patentliteratur

**[0005]**

Patentliteratur 1: Ungeprüfte japanische Patentanmeldung Veröffentlichungsnummer. 2009-205930A

Patentliteratur 2: Ungeprüfte japanische Patentanmeldung Veröffentlichungsnummer. H11-297336A

chanismus oder im Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus durchlaufen hat und zur Turbine strömt, durchführt, um die Temperatur des Dampfes zu erhöhen und die Temperatur des Abgases zu senken.

**[0009]** Somit wird ein Wärmeaustausch mit dem Dampf durchgeführt, der im Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus oder im Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus überhitzt worden ist, um die Temperatur von Abluft zu senken, wodurch es möglich ist, die Temperatur der Abluft zu senken und gleichzeitig einer übermäßigen Senkung der Ablufttemperatur entgegenzuwirken. Somit ist es möglich, die Abluft zur Gasturbine zu liefern, während die Temperatur der Abluft auf einer relativ hohen Temperatur gehalten wird, und es ist möglich, die Wärme der Abluft sowohl in der Gasturbine als auch im Abhitze-Dampferzeuger zurückzugewinnen. Dadurch kann der Nutzungsgrad verbessert werden. Ferner wird die Temperatur der Abluft gesenkt, so dass die Belastung der Abluft-Zirkulationsleitung verringert werden kann.

**[0010]** In dem Stromerzeugungssystem der Erfindung weist der Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus einen Hochdrucküberhitzer auf. Der Abluft-Wärmetauscher führt einen Wärmeaustausch zwischen Dampf, der vom Hochdrucküberhitzer überhitzt worden ist, und der Abluft durch. Dampf, der durch den Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus strömt, durchläuft einen Wärmeaustausch mit dem Abluft-Wärmetauscher und wird dann zur Hochdruckturbine geliefert.

**[0011]** Daher ist es möglich, die Temperatur der Abluft zu senken und gleichzeitig einer zu starken Senkung der Ablufttemperatur entgegen zu wirken.

**[0012]** Das Stromerzeugungssystem der Erfindung weist Folgendes auf: Eine Brenngas-Zufuhrleitung, die Brenngas zur Gasturbine liefert; und mindestens einen Brenngas-Wärmetauscher, der einen Wärmeaustausch zwischen dem Brenngas, das durch die Brenngas-Zufuhrleitung strömt, und dem Dampf, der einen Wärmeaustausch mit dem Abgas im Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus durchlaufen hat und zur Turbine strömt, durchführt, um die Temperatur des Dampfes zu senken und die Temperatur des Brenngases zu erhöhen. Der Dampf, der durch den Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus strömt, durchläuft einen Wärmeaustausch mit dem Brenngas-Wärmetauscher, einen Wärmeaustausch mit dem Abluft-Wärmetauscher und wird dann zur Hochdruckturbine geliefert.

**[0013]** Daher ist es möglich, die Temperatur der Abluft zu senken und gleichzeitig einer zu starken Senkung der Ablufttemperatur entgegen zu wirken. Ferner wird die Temperatur des Brenngases erhöht, so

dass dessen Wärme sowohl in der Gasturbine als auch in der Turbine zurückgewonnen werden kann.

**[0014]** Im Stromerzeugungssystem der Erfindung weist der Abhitze-Dampferzeuger ferner einen Zirkulationsmechanismus für zwischenüberhitzten Dampf auf, der mit einem Zwischenüberhitzer versehen ist, der die Temperatur von gewonnenem Dampf mit Abgas, das aus der Gasturbine ausgestoßen worden ist, erhöht. Der Zirkulationsmechanismus für zwischenüberhitzten Dampf gewinnt Dampf, der durch die Hochdruckturbine strömt, erhöht die Temperatur des gewonnenen Dampfes im Zwischenüberhitzer und liefert den Dampf mit der erhöhten Temperatur zur Zwischendruckturbine. Der Abluft-Wärmetauscher führt einen Wärmeaustausch zwischen Dampf, der vom Zwischenüberhitzer überhitzt worden ist, und der Abluft durch, und Dampf, der durch den Zirkulationsmechanismus für zwischenerhitzten Dampf strömt, durchläuft einen Wärmeaustausch mit dem Abluft-Wärmetauscher und wird dann zur Zwischendruckturbine geliefert.

**[0015]** Daher ist es möglich, die Temperatur der Abluft zu senken und gleichzeitig einer zu starken Senkung der Ablufttemperatur entgegen zu wirken.

**[0016]** Ein Verfahren zum Betreiben eines Stromerzeugungssystems, das Folgendes aufweist: Eine Gasturbine mit einem Verdichter und einem Brenner, eine Brennstoffzelle mit einer Lufterlektrode und einer Brennstoffelektrode, eine Abluft-Zirkulationsleitung, die Abluft, die aus der Brennstoffzelle ausgestoßen wird, zur Gasturbine liefert, eine Zufuhrleitung für abgeführtes Brenngas, die abgeführtes Brenngas, das aus der Brennstoffzelle ausgestoßen wird, zur Gasturbine liefert, eine Turbine, die mit einer Hochdruckturbine, einer Zwischendruckturbine und einer Niederdruckturbine ausgestattet ist, und einen Abhitze-Dampferzeuger, der mit Folgendem ausgestattet ist: Einem Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus, der Wärme aus Abgas zurückgewinnt, das aus der Gasturbine ausgestoßen wird, um Dampf zu erzeugen, und der erzeugten Dampf zur Hochdruckturbine liefert, einem Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus, der Wärme aus Abgas zurückgewinnt, das aus der Gasturbine ausgestoßen wird, um Dampf mit einem Druck zu erzeugen, der niedriger ist als der des Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus, und der erzeugten Dampf zur Zwischendruckturbine liefert, und einem Niederdruck-Dampfzirkulationsmechanismus, der Wärme aus Abgas zurückgewinnt, das aus der Gasturbine ausgestoßen wird, um Dampf mit einem Druck zu erzeugen, der niedriger ist als der des Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus, und der erzeugten Dampf zur Niederdruckturbine liefert. Das Verfahren beinhaltet die Durchführung eines Wärmetausches zwischen dem Abgas und dem Dampf, der durch den Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus oder den Zwischendruck-

Dampfzirkulationsmechanismus strömt, und nach der Durchführung dieses Wärmeaustausches die Durchführung eines Wärmeaustausches zwischen Dampf, der zur Turbine strömt, und Abgas, das durch die Abluft-Zirkulationsleitung strömt, um die Temperatur des Dampfes zu erhöhen und die Temperatur des Brenngases zu senken.

**[0017]** Somit wird ein Wärmeaustausch mit dem Dampf durchgeführt, der im Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus oder im Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus überhitzt wird, um die Temperatur von Abluft zu senken, wodurch es möglich ist, die Temperatur der Abluft zu senken und gleichzeitig einer übermäßigen Senkung der Ablufttemperatur entgegenzuwirken. Somit ist es möglich, die Abluft zur Gasturbine zu liefern, während die Temperatur der Abluft auf einer relativ hohen Temperatur gehalten wird, und es ist möglich, die Wärme der Abluft sowohl in der Gasturbine als auch im Abhitze-Dampferzeuger zurückzugewinnen. Dadurch kann der Nutzungsgrad verbessert werden. Ferner wird die Temperatur der Abluft gesenkt, so dass die Belastung der Abluft-Zirkulationsleitung verringert werden kann.

#### Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

**[0018]** Gemäß dem Stromerzeugungssystem und dem Verfahren zum Betreiben des Stromerzeugungssystems gemäß der Erfindung wird ein Wärmeaustausch mit Dampf durchgeführt, der im Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus oder im Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus überhitzt wird, um die Temperatur von Abluft zu senken, wodurch es möglich ist, die Temperatur der Abluft zu senken und dabei einer übermäßigen Senkung der Ablufttemperatur entgegenzuwirken. Somit ist es möglich, die Abluft zur Gasturbine zu liefern, während die Temperatur der Abluft auf einer relativ hohen Temperatur gehalten wird, und es ist möglich, die Wärme der Abluft sowohl in der Gasturbine als auch im Abhitze-Dampferzeuger zurückzugewinnen. Dadurch kann der Nutzungsgrad verbessert werden.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

**[0019]** Fig. 1 ist eine schematische Gestaltungsskizze, die ein Stromerzeugungssystem der Ausführungsform darstellt.

**[0020]** Fig. 2 ist eine schematische Gestaltungsskizze, die einen Abhitze-Dampferzeuger und eine Turbine des Stromerzeugungssystems in Bezug auf eine Ausführungsform der Erfindung darstellt.

**[0021]** Fig. 3 ist eine schematische Gestaltungsskizze, die eine Wärmetauschereinheit des Stromerzeugungssystems der Ausführungsform darstellt.

**[0022]** Fig. 4 ist eine schematische Gestaltungsskizze, die ein anderes Beispiel für die Wärmetauschereinheit des Stromerzeugungssystems der Ausführungsform darstellt.

**[0023]** Fig. 5 ist eine schematische Gestaltungsskizze, die ein anderes Beispiel für die Wärmetauschereinheit des Stromerzeugungssystems der Ausführungsform darstellt.

#### Beschreibung der Ausführungsformen

**[0024]** Nachstehend werden eine bevorzugte Ausführungsform eines Stromerzeugungssystems und eines Verfahrens zum Betreiben des Stromerzeugungssystems in Bezug auf die Erfindung ausführlich und unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. Man beachte, dass die Erfindung nicht auf die Ausführungsform beschränkt ist, und wenn mehrere Ausführungsformen vorliegen, soll die Erfindung eine Gestaltung einschließen, welche diese Ausführungsformen kombiniert.

#### Ausführungsform

**[0025]** Das Stromerzeugungssystem der Ausführungsform ist ein Triple Combined Cycle(eingetragenes Warenzeichen)-System, das eine Festoxidbrennstoffzelle (im Folgenden als SOFC bezeichnet), eine Gasturbine und eine Dampfturbine kombiniert. Dieses Triple Combined Cycle-System ist in der Lage, Elektrizität in den drei Stufen SOFC, Gasturbine und Dampfturbine zu gewinnen, und zwar dadurch, dass die SOFC stromaufwärts von einer kombinierten Gasturbinenzyklus(GTCC)-Stromerzeugung angeordnet und somit in der Lage ist, einen außerordentlich hohen Wirkungsgrad der Stromerzeugung zu erreichen. Man beachte, dass in der folgenden Beschreibung eine Festoxidbrennstoffzelle als Brennstoffzelle der Erfindung verwendet wird; jedoch sind die Brennstoffzellen nicht auf diesen Typ beschränkt.

**[0026]** Fig. 1 ist eine schematische Gestaltungsskizze, die das Stromerzeugungssystem in Bezug auf die Ausführungsform darstellt. In der Ausführungsform weist ein Stromerzeugungssystem **10**, wie in Fig. 1 dargestellt, eine Gasturbine **11** und einen Stromgenerator **12**, eine SOFC **13** und eine Dampfturbine **14** und einen Stromgenerator **15** auf. Das Stromerzeugungssystem **10** ist so gestaltet, dass es eine Stromerzeugung durch die Gasturbine **11**, eine Stromerzeugung durch die SOFC **13** eine Stromerzeugung durch die Dampfturbine **14** kombiniert, um dadurch einen hohen Wirkungsgrad der Stromerzeugung zu erreichen. Das Stromerzeugungssystem **10** ist außerdem mit einer Steuervorrichtung **62** versehen. Die Steuervorrichtung **62** steuert den Betrieb der einzelnen Komponenten des Stromerzeugungssystems **10** gemäß eingegebenen Einstellungen, eingegebenen

Befehlen, Ergebnissen, die in einer Erfassungseinheit erfasst werden, und dergleichen.

**[0027]** Die Gasturbine **11** weist einen Verdichter **21**, einen Brenner **22** und eine Turbine **23** auf. Der Verdichter **21** und die Turbine **23** sind so verbunden, dass sie durch eine Drehwelle **24** gemeinsam gedreht werden können. Der Verdichter **21** verdichtet Luft A, die durch eine Luftansaugleitung **25** erhalten wird. Der Brenner **22** kombiniert und verbrennt Druckluft A1, die vom Verdichter **21** durch eine erste Druckluft-Zufuhrleitung **26** geliefert wird, und Brenngas L1, das von einer ersten Brenngas-Zufuhrleitung **27** geliefert wird. Die Turbine **23** wird durch Abgas (Brenngas) G, das vom Brenner **22** durch eine Abgas-Zufuhrleitung **28** geliefert wird, zum Drehen gebracht. Obwohl dies in den Zeichnungen nicht dargestellt ist, wird die Turbine **23** mit der Druckluft A1, die vom Verdichter **21** verdichtet worden ist, durch ein Gehäuse hindurch beliefert, und die Druckluft A1 kühlt als Kühlluft Blätter und dergleichen. Der Stromgenerator **12** ist koaxial zur Turbine **23** vorgesehen und ist in der Lage, Strom durch die Drehung der Turbine **23** zu erzeugen. Man beachte, dass das Brenngas L1, das zum Brenner **22** geliefert wird, beispielsweise Flüssigerdgas (LNG) ist.

**[0028]** Die SOFC **13** wird mit heißem Brenngas als Reduktionsmittel und mit heißer Luft (Oxidierungsgas) als Oxidationsmittel beliefert, die bei einer vorgegebenen Betriebstemperatur reagieren, um Strom zu erzeugen. Die SOFC **13** besteht aus einer Lufterlektrode, einem festen Elektrolyten und einer Brennstoffelektrode, die in einem Druckbehälter untergebracht sind. Ein Teil der Druckluft A2, die vom Verdichter **21** verdichtet worden ist, wird zur Lufterlektrode geliefert, und Brenngas wird zur Brennstoffelektrode geliefert, so dass Strom erzeugt wird. Man beachte, dass hierbei als Brenngas L2, das zur SOFC **13** geliefert wird, beispielsweise Flüssigerdgas (LNG), Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Kohlenmonoxid (CO), ein Kohlenwasserstoffgas wie Methan (CH<sub>4</sub>) oder Gas, das in einer Vergasungsanlage für kohlenstoffhaltiges Material wie Kohle oder dergleichen hergestellt wird, verwendet wird. Ebenso beinhaltet das Oxidierungsgas, das zur SOFC **13** geliefert wird, ungefähr 15% bis 30% Sauerstoff. In der Regel ist Luft ausreichend. Jedoch können zusätzlich zu Luft ein Gasgemisch aus Verbrennungsabgas und Luft, ein Gasgemisch aus Sauerstoff und Luft oder dergleichen verwendet werden (im Folgenden wird das Oxidierungsgas, das zur SOFC **13** geliefert wird, als "Luft" bezeichnet).

**[0029]** Die SOFC **13** ist mit einer zweiten Druckluft-Zufuhrleitung **31** verbunden, die von der ersten Druckluft-Zufuhrleitung **26** abzweigt und in der Lage ist, einen Teil der Druckluft A2, die vom Verdichter **21** verdichtet wird, zu einem Einlass der Lufterlektrode zu liefern. Diese zweite Druckluft-Zufuhrleitung **31** ist in der Luftströmungsrichtung mit einem Regelven-

til **32**, das in der Lage ist, das zuzuführendes Luftvolumen einzustellen, und mit einem Gebläse (Verstärker) **33** versehen, das (der) in der Lage ist, den Druck der Druckluft A2 zu erhöhen. Das Regelventil **32** ist in der Luftströmungsrichtung auf der stromaufwärtigen Seite der zweiten Druckluft-Zufuhrleitung **31** vorgesehen. Das Gebläse **33** ist auf der Seite stromabwärts vom Regelventil **32** vorgesehen. Die SOFC **13** ist mit einer Abluftleitung **34** verbunden, die Abluft A3, die von der Lufterlektrode genutzt worden ist, entlässt. Diese Abluftleitung **34** verzweigt sich in eine Abfuhrleitung **35**, welche die Abluft A3, die von der Lufterlektrode genutzt worden ist, nach außen entlässt, und in eine Druckluft-Zirkulationsleitung **36**, die mit dem Brenner **22** verbunden ist. Die Abfuhrleitung **35** ist mit einem Regelventil **37** versehen, das in der Lage ist, das Luftvolumen, das entlassen werden soll, einzustellen. Die Druckluft-Zirkulationsleitung **36** ist mit einem Regelventil **38** versehen, das in der Lage ist, das Luftvolumen, das zirkulieren soll, einzustellen.

**[0030]** Die SOFC **13** ist außerdem mit einer zweiten Brenngas-Zufuhrleitung **41** versehen, die das Brenngas L2 zum Einlass der Brennstoffelektrode liefert. Die zweite Brenngas-Zufuhrleitung **41** ist mit einem Regelventil **42** versehen, das in der Lage ist, das Brenngasvolumen, das geliefert werden soll, einzustellen. Die SOFC **13** ist mit einer Brenngas-Abfuhrleitung **43** verbunden, die von der Brennstoffelektrode genutztes abgeführtes Brenngas L3 entlässt. Diese Brennstoff-Abfuhrleitung **43** verzweigt sich in eine Abfuhrleitung **44**, die eine Entlassung nach außen durchführt, und in eine Zufuhrleitung **45** für abgeführtes Brenngas, die mit dem Brenner **22** verbunden ist. Die Abfuhrleitung **44** ist mit einem Regelventil **46** versehen, das in der Lage ist, das Brenngasvolumen, das entlassen werden soll, einzustellen. Die Zufuhrleitung **45** für abgeführtes Brenngas ist in der Strömungsrichtung des abgeführten Brenngases L3 mit einem Regelventil **47**, das in der Lage ist, das zuzuführende Brenngasvolumen einzustellen, und mit einem Gebläse **48** versehen, das in der Lage ist, den Druck des Brenngases L3 zu erhöhen. Das Regelventil **47** ist in Strömungsrichtung des abgeführten Brenngases L3 in der Zufuhrleitung **45** für abgeführtes Brenngas auf der Seite stromaufwärts vorgesehen, und das Gebläse ist auf der Seite stromabwärts vom Regelventil **47** vorgesehen.

**[0031]** Die SOFC **13** ist außerdem mit einer Brenngas-Rückführungsleitung **49** versehen, welche die Brenngas-Abfuhrleitung **43** und die zweite Brenngas-Zufuhrleitung **41** verbindet. Die Brenngas-Rückführungsleitung **49** ist mit einem Rückführungsgebläse **50** versehen, welches das abgeführte Brenngas L3 aus der Brenngas-Abfuhrleitung **43** in die zweite Brennstoff-Zufuhrleitung **41** zurückführt.

**[0032]** Die Dampfturbine **14** dreht eine Turbine **52** mit Dampf, der von einem Wärmerückgewinnungs-

bzw. Abhitze-Dampferzeuger (HRSG) **51** erzeugt wird. Dieser Abhitze-Dampferzeuger **51** ist mit einer Abgasleitung **53** verbunden, die von der Gasturbine **11** (Turbine **23**) ausgeht, und erzeugt Dampf S durch einen Wärmeaustausch zwischen Luft und heißem Abgas G. Eine Dampf-Zufuhrleitung **54** und eine Wasser-Zufuhrleitung **55** sind zwischen der Dampfturbine **14** (Turbine **52**) und dem Abhitze-Dampferzeuger **51** vorgesehen. Ebenso ist die Wasser-Zufuhrleitung **55** mit einem Kondensator **56** und einer Wasserförderpumpe **57** versehen. Der Stromgenerator **15** ist koaxial zur Turbine **52** vorgesehen und ist in der Lage, Strom durch die Drehung der Turbine **52** zu erzeugen. Man beachte, dass das Abgas G, das vom Abhitze-Dampferzeuger **51** zurückgewonnen wird, in die Atmosphäre abgegeben wird, nachdem etwaige toxische Materialien entfernt worden sind.

**[0033]** Nun wird der Betrieb des Stromerzeugungssystems **10** in Bezug auf die Ausführungsform beschrieben. Wenn das Stromerzeugungssystem **10** gestartet wird, werden die Gasturbine **11**, die Dampfturbine **14** und die SOFC **13** in der Reihenfolge ihrer Nennung gestartet.

**[0034]** Zuerst verdichtet der Verdichter **21** in der Gasturbine **11** die Luft A, der Brenner **22** mischt die verdichtete Luft A1 mit dem Brenngas L1 und verbrennt die Gasmischung, und die Turbine **23** dreht sich aufgrund des Abgases G. Somit beginnt der Stromgenerator **12** mit der Erzeugung von Strom. Dann dreht sich die Turbine **52** in der Dampfturbine **14** aufgrund des Dampfes S, der vom Abhitze-Dampferzeuger **51** erzeugt wird. Somit beginnt der Stromgenerator **15** mit der Erzeugung von Strom.

**[0035]** Anschließend wird in der SOFC **13** die Druckluft A2 zuerst zugeführt, um den Druck zu erhöhen, und das Aufheizen beginnt. Während das Regelventil **37** der Abfuhrleitung **35** und das Regelventil **38** der Druckluft-Zirkulationsleitung **36** geschlossen werden und das Gebläse **33** der zweiten Druckluft-Zufuhrleitung **31** angehalten wird, wird das Regelventil **32** bis zu einem gewissen Grad geöffnet. Dann wird ein Teil der Druckluft A2, die vom Verdichter **21** verdichtet wird, aus der zweiten Druckluft-Zufuhrleitung **31** zur SOFC **13** geliefert. Somit wird der Druck auf der Seite der SOFC **13** durch die Zufuhr von Druckluft A2 erhöht.

**[0036]** Dabei wird in der SOFC **13** das Brenngas L2 zur Brennstoffelektrodenenseite geliefert, um den Druck zu erhöhen. Während das Regelventil **46** der Abfuhrleitung **44** und das Regelventil **47** der Zufuhrleitung **45** für abgeführtes Brenngas geschlossen werden und das Gebläse **48** angehalten wird, wird das Regelventil **42** der zweiten Brenngas-Zufuhrleitung **41** geöffnet und das Rückführungsgebläse **50** der Brenngas-Rückführungsleitung **49** wird angetrieben. Dann wird das Brenngas L2 aus der zweiten Brenngas-Zu-

fuhrleitung **41** zur SOFC **13** geliefert, und das abgeführte Brenngas L3 wird von der Brenngas-Rückführungsleitung **49** zurückgeführt. Somit wird der Druck auf der Seite der SOFC **13** durch die Zufuhr des Brenngases L2 erhöht.

**[0037]** Sobald der Druck auf der Lufterktrodenenseite der SOFC **13** einen Auslassdruck des Verdichters **21** erreicht, wird dann das Regelventil **32** ganz geöffnet und das Gebläse **33** wird angetrieben. Das Regelventil **37** wird gleichzeitig geöffnet und die Abluft A3 aus der SOFC **13** wird aus der Abfuhrleitung **35** entlassen. Dann wird die verdichtete Luft A2 vom Gebläse **33** zur SOFC **13** geliefert. Das Regelventil **46** wird gleichzeitig geöffnet und das abgeführte Brenngas L3 aus der SOFC **13** wird aus der Abfuhrleitung **44** entlassen. Sobald dann der Druck auf der Lufterktrodenenseite und der Druck auf der Brennstoffelektrodenenseite der SOFC **13** Soll drücke erreichen, ist die Verstärkung des Drucks für die SOFC **13** abgeschlossen.

**[0038]** Sobald sich die Reaktion (Stromerzeugung) in der SOFC **13** stabilisiert hat und die Bestandteile der Abluft A3 und des abgeführten Abgases L3 stabil geworden sind, wird danach das Regelventil **37** geschlossen und das Regelventil **38** wird geöffnet. Dann wird die Abluft A3 aus der SOFC **13** durch die Druckluft-Zirkulationsleitung **36** zum Brenner **22** geliefert. Das Regelventil **46** wird geschlossen, während das Regelventil **47** geöffnet wird und das Gebläse **48** angetrieben wird. Dann wird das abgeführte Brenngas L3 aus der SOFC **13** durch die Zufuhrleitung **45** für abgeführtes Brenngas zum Brenner **22** geliefert. Zu dieser Zeit wird das Brenngas L1, das durch die erste Brenngas-Zufuhrleitung **27** zum Brenner **22** geliefert wird, verringert.

**[0039]** Hierbei sind die Stromerzeugung durch den Stromgenerator **12** aufgrund des Antreibens der Gasturbine **11**, die Stromerzeugung durch die SOFC **13** und die Stromerzeugung durch den Stromgenerator **15** aufgrund des Antreibens der Dampfturbine **14** alle aktiv, so dass das Stromerzeugungssystem **110** in einem normalen Betriebszustand ist.

**[0040]** Die Gestaltung der Dampfturbine der Ausführungsform, insbesondere die Gestaltungen des Abhitze-Dampferzeugers **51** und der Turbine **52**, werden nun mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben. **Fig. 2** ist eine schematische Gestaltungsskizze, die den Abhitze-Dampferzeuger und die Turbine im Stromerzeugungssystem in Bezug auf eine Ausführungsform der Erfindung darstellt. Die Turbine **52** beinhaltet eine Hochdruckturbine **52H**, eine Zwischendruckturbine **52I** und eine Niederdruckturbine **52L**. Die Hochdruckturbine **52H** wird durch unter hohem Druck stehenden Dampf angetrieben, der vom Abhitze-Dampferzeuger **51** geliefert wird. Die Zwischendruckturbine **52I** wird mit Dampf angetrieben, der vom Abhitze-

Dampferzeuger **51** geliefert wird und der einen niedrigeren Druck aufweist als der Dampf, der zur Hochdruckturbine **52H** geliefert wird. Die Niederdruckturbine **51L** wird mit Dampf angetrieben, der vom Abhitze-Dampferzeuger **51** geliefert wird und der einen niedrigeren Druck aufweist als der Dampf, der zur Zwischendruckturbine **52I** geliefert wird.

**[0041]** Der Abhitze-Dampferzeuger **51** weist Folgendes auf: Einen Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus **70**, der Wärme aus Abgas zurückgewinnt, das aus der Turbine **23** der Gasturbine **11** ausgestoßen wird, um Dampf zu erzeugen, und der erzeugten Dampf zur Hochdruckturbine **52H** liefert; einen Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus **72**, der Wärme aus Abgas zurückgewinnt, das aus der Gasturbine **11** ausgestoßen wird, um Dampf mit einem Druck zu erzeugen, der niedriger ist als der des Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus **70**, und der erzeugten Dampf zur Zwischendruckturbine **52I** liefert; einen Niederdruck-Dampfzirkulationsmechanismus **74**, der Wärme aus Abgas zurückgewinnt, das aus der Gasturbine **11** ausgestoßen wird, um Dampf mit einem Druck zu erzeugen, der niedriger ist als der des Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus **72**, und der erzeugten Dampf zur Niederdruckturbine **52L** liefert, und einen Zirkulationsmechanismus **79** für zwischenüberhitzten Dampf, der die Temperatur des Dampfes, der aus der Hochdruckturbine **52H** ausgestoßen wird, mit dem Abgas erneut erhöht, und den Dampf mit der erhöhten Temperatur zur Zwischendruckturbine **52I** liefert.

**[0042]** Der Abhitze-Dampferzeuger **51** weist außerdem einen Vorerhitzer **76**, eine Hochdruckpumpe **78H**, eine Zwischendruckpumpe **78I** und eine Niederdruckpumpe **78L** auf. Der Vorerhitzer **76** heizt Wasser, das vom Kondensator **56** durch die Wasser-Zufuhrleitung **55** geliefert wird, vor. Die Hochdruckpumpe **78H** liefert Wasser, das vom Vorerhitzer **76** vorerhitzt worden ist, zum Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus **70**. Die Zwischendruckpumpe **78I** liefert Wasser, das vom Vorerhitzer **76** vorerhitzt worden ist, zum Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus **72**. Die Niederdruckpumpe **78L** liefert Wasser, das vom Vorerhitzer **76** vorerhitzt worden ist, zum Niederdruck-Dampfzirkulationsmechanismus **74**.

**[0043]** Der Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus **70** ist ein Mechanismus zur Erhöhung der Temperatur des Wassers, das vom Vorerhitzer **76** geliefert wird, mit dem Abgas, um Dampf zu erzeugen und den Dampf dann zur Hochdruckturbine **52H** zu liefern. Der Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus **70** weist eine Hochdrucktrommel **70D**, einen Hochdruck-Economiser **70EC**, einen Hochdruckverdampfer **70EV**, einen Hochdrucküberhitzer **70SHa** und einen Hochdrucküberhitzer **70SHb** auf. Der Hochdruck-Economiser **70EC**, der Hochdruck-

verdampfer **70EV**, der Hochdrucküberhitzer **70SHa** und der Hochdrucküberhitzer **70SHb** sind Wärmetauscher, die mit Wärmeübertragungsrohren versehen sind und in einer Rohrleitung angeordnet sind, durch die das Abgas G strömt. Ein Wärmeaustausch wird zwischen dem Abgas und in den Wärmeübertragungsrohren strömendem Wasser oder Dampf durchgeführt, so dass die Temperatur des Wassers oder Dampfes erhöht wird. Sowohl der später beschriebene Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus **72** als auch der Niederdruck-Dampfzirkulationsmechanismus **74** weisen einen Economiser, einen Dampf-Verdampfer und zwei Überhitzer auf, somit sind sie Wärmetauscher, die auf ähnliche Weise arbeiten. Die Komponenten des Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus **70** sind jeweils durch Leitungen (Rohre) vom Vorerhitzer **76** zur Hochdruckturbine **52H** verbunden, und zwar in der Reihenfolge Hochdruck-Economiser **70EC**, Hochdrucktrommel **70D**, Hochdrucküberhitzer **70SHa** und Hochdrucküberhitzer **70SHb**. Ferner ist der Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus **70** in der oben genannten Reihenfolge von der stromabwärtigen Seite zur stromaufwärtigen Seite in der Strömungsrichtung des Abgases des Abhitze-Dampfgenerators **51** angeordnet. Im Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus **70** wird Wasser, das vom Vorerhitzer **76** vorerhitzt worden ist, durch die Hochdruckpumpe **78H** zum Hochdruck-Economiser **70EC** geschickt, vom Hochdruck-Economiser **70EC** überhitzt und dann zur Hochdrucktrommel **70E** geschickt. Der Hochdruckverdampfer **70EV** ist mit der Hochdrucktrommel **70D** verbunden. Beide Enden des Hochdruckverdampfers **70EV** sind mit der Hochdrucktrommel **70D** verbunden, um Wasser, das sich in der Hochdrucktrommel **70D** gesammelt hat, zirkulieren zu lassen, während die Temperatur des Wassers mit dem Abgas erhöht wird, wodurch Dampf erzeugt wird. Der Dampf, der vom Hochdruckverdampfer **70EV** erzeugt wird, wird von der Hochdrucktrommel **70D** zum Hochdrucküberhitzer **70SHa** geliefert, so dass er weiter überhitzt werden kann. Der Dampf, der vom Hochdrucküberhitzer **70SHa** überhitzt worden ist, wird zum Hochdrucküberhitzer **70SHb** geliefert, so dass er weiter überhitzt werden kann, und dann zur Hochdruckturbine **52H** geliefert. Die Hochdruckturbine **52H** wird von dem Dampf, der vom Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus **70** geliefert wird, angetrieben.

**[0044]** Der Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus **72** ist ein Mechanismus zur Erhöhung der Temperatur des Wassers, das vom Vorerhitzer **76** geliefert wird, durch das Abgas, um Dampf zu erzeugen und den Dampf dann zur Zwischendruckturbine zu liefern. Der Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus **72** weist eine Zwischendrucktrommel **72D**, einen Zwischendruck-Economiser **72EC**, einen Zwischendruckverdampfer **72EV** und einen Zwischendrucküberhitzer **72SH** auf. Die Komponenten des Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus

**72** sind jeweils durch Leitungen (Rohre) vom Vorerhitzer **76** zur Zwischendruckturbine **52I** verbunden, und zwar in der Reihenfolge Zwischendruck-Economiser **72EC**, Zwischendrucktrommel **72D** und Zwischendrucküberhitzer **72SH**. Ferner ist der Zwischendruck-Dampfkreislaufmechanismus **72** in der oben genannten Reihenfolge von der stromabwärtigen Seite zur stromaufwärtigen Seite in der Strömungsrichtung des Abgases des Abhitze-Dampfgenerators **51** angeordnet. Im Zwischendruck-Dampfkreislaufmechanismus **72** wird Wasser, das vom Vorerhitzer **76** vorerhitzt worden ist, durch die Zwischendruckpumpe **78I** zum Zwischendruck-Economiser **72EC** geschickt, vom Zwischendruck-Economiser **72EC** überhitzt und dann zur Zwischendrucktrommel **72D** geschickt. Der Zwischendruckverdampfer **72EV** ist mit der Zwischendrucktrommel **72D** verbunden. Beide Enden des Zwischendruckverdampfers **72EV** sind mit der Zwischendrucktrommel verbunden, um Wasser, das sich in der Zwischendrucktrommel **72D** gesammelt hat, zirkulieren zu lassen, während die Temperatur des Wassers mit dem Abgas erhöht wird, wodurch Dampf erzeugt wird. Der Dampf, der vom Zwischendruckverdampfer **72EV** erzeugt wird, wird von der Zwischendrucktrommel **72D** zum Zwischendrucküberhitzer **72SH** geliefert, so dass er weiter überhitzt werden kann. Der vom Zwischendrucküberhitzer **72SH** überhitzte Dampf wird zur Zwischendruckturbine **52I** geliefert. Die Zwischendruckturbine **52I** wird von dem Dampf, der vom Zwischendruck-Dampfkreislaufmechanismus **72** geliefert wird, angetrieben. Die Komponenten des Zwischendruck-Dampfkreislaufmechanismus **72** sind in der Strömungsrichtung des Abgases in Bezug auf die entsprechenden Komponenten des Hochdruck-Dampfkreislaufmechanismus **70** weiter auf der stromabwärtigen Seite angeordnet. Demgemäß sind die Temperatur und der Druck des Dampfes niedriger als die des Hochdruck-Dampfkreislaufmechanismus **70**.

**[0045]** Der Niederdruck-Dampfkreislaufmechanismus **74** ist ein Mechanismus zur Erhöhung der Temperatur des Wassers, das vom Vorerhitzer **76** geliefert wird, mit dem Abgas, um Dampf zu erzeugen und den Dampf dann zur Niederdruckturbine **52L** zu liefern. Der Niederdruck-Dampfkreislaufmechanismus **74** weist eine Niederdrucktrommel **74D**, einen Niederdruck-Economiser **74EC**, einen Niederdruckverdampfer **74EV** und einen Niederdrucküberhitzer **74SH** auf. Die Komponenten des Niederdruck-Dampfkreislaufmechanismus **74** sind jeweils durch Leitungen (Rohre) vom Vorerhitzer **76** zur Niederdruckturbine **52L** verbunden, und zwar in der Reihenfolge Niederdruck-Economiser **74EC**, Niederdrucktrommel **74D** und Niederdrucküberhitzer **74SH**. Ferner ist der Niederdruck-Dampfkreislaufmechanismus **74** in der oben genannten Reihenfolge von der stromabwärtigen Seite zur stromaufwärtigen Seite in der Strömungsrichtung des Abgases des

Abhitze-Dampfgenerators **51** angeordnet. Im Niederdruck-Dampfkreislaufmechanismus **74** wird das Wasser, das vom Vorerhitzer **76** vorerhitzt worden ist, durch die Niederdruckpumpe **78L** zum Niederdruck-Economiser **74EC** geschickt, vom Niederdruck-Economiser **74EC** überhitzt und dann zur Niederdrucktrommel **74D** geschickt. Der Niederdruckverdampfer **74EV** ist mit der Niederdrucktrommel **74D** verbunden. Beide Enden des Niederdruckverdampfers **74EV** sind mit der Niederdrucktrommel **74D** verbunden, um Wasser, das sich in der Niederdrucktrommel **74D** gesammelt hat, zirkulieren zu lassen, während die Temperatur des Wassers mit dem Abgas erhöht wird, wodurch Dampf erzeugt wird. Der Dampf, der vom Niederdruckverdampfer **74EV** erzeugt wird, wird von der Niederdrucktrommel **74D** zum Niederdrucküberhitzer **74SH** geliefert, so dass er weiter überhitzt werden kann. Der vom Niederdrucküberhitzer **74SH** überhitzte Dampf wird zur Niederdruckturbine **52L** geliefert. Die Niederdruckturbine **52L** wird von dem Dampf, der vom Niederdruck-Dampfkreislaufmechanismus **74** geliefert wird, angetrieben. Die Komponenten des Niederdruck-Dampfkreislaufmechanismus **74** sind in der Strömungsrichtung des Abgases in Bezug auf die entsprechenden Komponenten des Zwischendruck-Dampfkreislaufmechanismus **72** weiter auf der stromabwärtigen Seite angeordnet. Demgemäß sind die Temperatur und der Druck des Dampfes niedriger als die des Zwischendruck-Dampfkreislaufmechanismus **72**.

**[0046]** Der Zirkulationsmechanismus **79** für zwischenüberhitzten Dampf ist ein Mechanismus zum erneuten Erhitzen des Dampfes, der durch die Hochdruckturbine **52H** geströmt ist, mit dem Abgas und zum Liefern des Dampfes zur Zwischendruckturbine **52I**. Der Zirkulationsmechanismus **79** für zwischenüberhitzten Dampf weist Zwischenüberhitzer **80a**, **80b** auf. Die Zwischenüberhitzer **80a**, **80b** sind Wärmetauscher, die mit Wärmeübertragungsrohren versehen sind und in einer Rohrleitung angeordnet sind, durch die das Abgas **G** strömt. Ein Wärmeaustausch wird zwischen dem Abgas und in den Wärmeübertragungsrohren strömendem Wasser oder Dampf durchgeführt, so dass die Temperatur des Dampfes erhöht wird. Die Zwischenüberhitzer **80a**, **80b** sind in einem Bereich auf der stromaufwärtigen Seite im Abhitze-Dampferzeuger **51** angeordnet, der sich nahe an den Hochdrucküberhitzern **70SHa**, **70SHb** befindet. Ferner ist der Zwischenüberhitzer **80a** in der Strömungsrichtung des Abgases auf der stromabwärtigen Seite des Zwischenüberhitzers **80b** angeordnet. Der Zirkulationsmechanismus **79** für zwischenüberhitzten Dampf überhitzt den Dampf, der durch die Hochdruckturbine **52H** geströmt ist, mit dem Zwischenüberhitzer **80a**, überhitzt den Dampf dann weiter mit dem Zwischenüberhitzer **80b** und liefert den Dampf dann zur Zwischendruckturbine **52I**. Der Abhitze-Dampferzeuger **51** ist gestaltet wie oben beschrieben.

**[0047]** Fig. 3 ist eine schematische Gestaltungsskizze, die eine Wärmetauschereinheit des Stromerzeugungssystems der Ausführungsform darstellt. In einem typischen Stromerzeugungssystem wird heißes Abgas aus einer Luftpolektrode **13a** der SOFC **13** ausgestoßen. Somit wird die Druckluft-Zufuhrleitung, durch welche die Abluft strömt, hohen Temperaturen ausgesetzt. Wenn man davon ausgeht, dass die Abluft unbehandelt zum Brenner **22** geliefert wird, muss die Druckluft-Zufuhrleitung somit aus einem wärmebeständigen Material gefertigt werden. Dadurch steigen die Kosten für Stromerzeugungsanlagen (und Stromerzeugungssysteme).

**[0048]** Daher ist das Stromerzeugungssystem **10**, das in Fig. 3 dargestellt ist, mit einer Wärmetauschereinheit **90** versehen, die einen Wärmeaustausch durchführt zwischen der Abluft, die aus der Luftpolektrode **13a** der SOFC in Richtung auf die Gasturbine **11** gelenkt wird, und dem abgeführten Brenngas, das aus der Brennstoffelektrode **13b** der SOFC **13** in Richtung auf die Gasturbine **11** gelenkt wird, und dem Dampf, der durch den Abhitze-Dampferzeuger **51** und die Turbine **52** strömt. Die Wärmetauschereinheit **90** weist einen Abluft-Wärmetauscher **91**, einen Wärmetauscher **92** für abgeführtes Brenngas, einen Brenngas-Wärmetauscher **94** und einen Brenngas-Wärmetauscher **96** auf.

**[0049]** Der Abluft-Wärmetauscher **91** ist in der Abluftleitung **34** oder der Druckluft-Zufuhrleitung **36** vorgesehen, das heißt in einer Abluft-Zirkulationsleitung, welche die Abluft, die aus der SOFC **13** ausgestoßen wird, zirkulieren lässt. Der Abluft-Wärmetauscher **91** führt einen Wärmeaustausch durch zwischen der Abluft, die durch die Abluft-Zirkulationsleitung strömt, und dem Dampf, der vom Abhitze-Dampferzeuger **51** überhitzt wird und zur Turbine **52** gelenkt wird, um die Temperatur der Abluft zu senken und die Temperatur des Dampfes zu erhöhen. Der Abluft-Wärmetauscher **91** erhält einen Zustrom von Dampf, der vom Hochdrucküberhitzer **70SHa** überhitzt worden ist und dessen Temperatur durch den Brenngas-Wärmetauscher **96** gesenkt wurde, und liefert diesen Dampf, der einen Wärmeaustausch durchlaufen hat, zur Hochdruckturbine **52H**. Man beachte, dass in der Ausführungsform der Dampf, der vom Hochdrucküberhitzer **70SHa** überhitzt worden ist und dessen Temperatur vom Brenngas-Wärmetauscher **96** gesenkt wurde, in den Abluft-Wärmetauscher **91** strömt. Jedoch kann stattdessen der Dampf verwendet werden, der vom Hochdrucküberhitzer **70SHb** überhitzt worden ist und dessen Temperatur vom Brenngas-Wärmetauscher **96** gesenkt wurde.

**[0050]** Der Wärmetauscher **92** für abgeführtes Brenngas ist in der Brenngas-Abfuhrleitung **43** oder der Zufuhrleitung **45** für abgeführtes Brenngas vorgesehen, das heißt, in einer Zirkulationsleitung für abgeführtes Brenngas, die das abgeführte Brenngas zir-

kulieren lässt, das aus der SOFC **13** ausgestoßen wird. Der Wärmetauscher **92** für abgeführtes Brenngas führt einen Wärmeaustausch durch zwischen dem abgeführten Brenngas, das durch die Zirkulationsleitung für abgeführtes Brenngas strömt, und dem Dampf, der vom Abhitze-Dampferzeuger **51** überhitzt wird und zur Turbine **52** gelenkt wird, um die Temperatur des abgeführten Brenngases zu senken und die Temperatur des Dampfes zu erhöhen. Der Wärmetauscher **92** für abgeführtes Brenngas erhält einen Zustrom von Dampf, der vom Zwischendrucküberhitzer **72SH** überhitzt worden ist, und liefert den Dampf, der einen Wärmeaustausch durchlaufen hat, zum Zwischenüberhitzer **80a**. Der Dampf, der dem Zwischenüberhitzer **80a** zugeführt wird, wird vom Zwischenüberhitzer **80b** weiter überhitzt und dann zur Zwischendruckturbine **52I** geliefert.

**[0051]** Der Brenngas-Wärmetauscher **94** ist in der ersten Brenngas-Zufuhrleitung **27** vorgesehen. Der Brenngas-Wärmetauscher **94** führt einen Wärmeaustausch zwischen dem Brenngas, das durch die erste Brenngas-Zufuhrleitung **27** strömt, das heißt, dem Brenngas, das zum Brenner **22** geliefert wird, und dem Wasser, dessen Temperatur vom Abhitze-Dampferzeuger **51** erhöht worden ist, durch. Der Brenngas-Wärmetauscher **94** erhöht die Temperatur des Brenngases und senkt die Temperatur des Dampfes. Der Brenngas-Wärmetauscher **94** erhält einen Zustrom von Wasser, das vom Zwischendruck-Economiser **72EC** überhitzt worden ist, und liefert dieses Wasser, das einen Wärmeaustausch durchlaufen hat, zur Wasser-Zufuhrleitung **55**.

**[0052]** Der Brenngas-Wärmetauscher **96** ist in der Strömungsrichtung des Brenngases in Bezug auf den Brenngas-Wärmetauscher **94** weiter zur stromabwärtigen Seite der ersten Brenngas-Zufuhrleitung **27** hin angeordnet, das heißt, der Brenngas-Wärmetauscher **96** ist näher am Brenner **22** vorgesehen. Der Brenngas-Wärmetauscher **96** führt einen Wärmeaustausch zwischen dem Brenngas, das durch die erste Brenngas-Zufuhrleitung **27** strömt, das heißt, dem Brenngas, das zum Brenner **22** geliefert wird, und dem Dampf, der vom Abhitze-Dampferzeuger **51** überhitzt worden ist, durch. Der Brenngas-Wärmetauscher **96** erhöht die Temperatur des Brenngases und senkt die Temperatur des Dampfes. Der Brenngas-Wärmetauscher **96** erhöht die Temperatur des Brenngases, die vom Brenngas-Wärmetauscher **94** erhöht worden ist, weiter. Der Wärmetauscher **96** für abgeführtes Brenngas erhält einen Zustrom von Dampf, der vom Hochdrucküberhitzer **70SHa** überhitzt worden ist, und liefert diesen Dampf mit einer Temperatur, die durch einen Wärmeaustausch gesenkt worden ist, zum Abluft-Wärmetauscher **91**. Die Wärmetauschereinheit **90** ist gestaltet wie oben beschrieben.

**[0053]** Das Stromerzeugungssystem **10** ist mit dem Abluft-Wärmetauscher **91** versehen und führt einen Wärmeaustausch zwischen dem Dampf, der vom Hochdruck-Dampfkreislaufmechanismus **70** überhitzt worden ist, und der Abluft durch, um die Temperatur der Abluft zu senken. Dadurch kann die Belastung der Abluft-Zirkulationsleitung, welche die Abluft zirkulieren lässt, verringert werden. Ferner kann dadurch, dass Dampf, der im Hochdruck-Dampfkreislaufmechanismus **70** überhitzt wird, einem Wärmeaustausch mit dem Abluft unterzogen wird, die Temperatur der Abluft bei oder über einer hohen festgelegten Temperatur gehalten werden. Hierbei wird die Abluft zum Brenner **22** geliefert, mit dem abgeführten Brenngas und dem Brenngas gemischt und vom Brenner erwärmt, strömt dann durch die Turbine **23** und strömt ferner durch den Abhitze-Dampf-erzeuger **51**. Daher kann die Abluft verwendet werden, um Energie zur Stromerzeugung an zwei Stellen, nämlich der Gasturbine **11** und der Dampfturbine **14**, zu extrahieren. Daher ermöglicht die Aufrechterhaltung der Temperatur der Abluft eine effizientere Energiegewinnung. Somit führt das Stromerzeugungssystem **10** einen Wärmeaustausch zwischen der Abluft und dem Dampf so durch, dass die Belastung der Abluft-Zirkulationsleitung, welche die Abluft zirkulieren lässt, verringert werden kann, und außerdem der Dampf, der für den Wärmeaustausch verwendet wird, als Hochtemperaturdampf dient und die Abluft bei oder über einer festgelegten hohen Temperatur gehalten wird, um eine effizientere Gewinnung von Energie zu ermöglichen.

**[0054]** Das Stromerzeugungssystem **10** ist außerdem mit dem Wärmetauscher für abgeführtes Brenngas **92** versehen, um eine Rückgewinnung von Wärme aus dem abgeführten Brenngas zu ermöglichen und um zu ermöglichen, dass die Belastung der Zirkulationsleitung für abgeführtes Brenngas wie beim Abluft-Wärmetauscher **91** verringert wird. Der Wärmetauscher für abgeführtes Brenngas **92** ermöglicht außerdem eine Verwendung des Dampfes, der für den Wärmeaustausch verwendet wird, als Dampf, der vom Zwischendrucküberhitzer **72SH** des Zwischendruck-Dampfkreislaufmechanismus **72** überhitzt wird, um zu ermöglichen, dass das abgeführte Brenngas bei oder oberhalb einer festgelegten hohen Temperatur gehalten wird. Somit führt das Stromerzeugungssystem **10** einen Wärmeaustausch zwischen dem abgeführten Brenngas und dem Dampf so durch, dass die Belastung der Zirkulationsleitung für das abgeführte Brenngas, die das abgeführte Brenngas zirkulieren lässt, verringert werden kann, und außerdem der Dampf, der für den Wärmeaustausch verwendet werden soll, als Hochtemperaturdampf dient und die Abluft bei oder über einer festgelegten hohen Temperatur gehalten wird, um eine effizientere Gewinnung von Energie zu ermöglichen.

**[0055]** Das Stromerzeugungssystem **10** ist außerdem mit dem Brenngas-Wärmetauscher **94** und dem Brenngas-Wärmetauscher **96** versehen, um die Temperatur des Brenngases zu erhöhen, damit die Wärme, die als Energie für die Stromerzeugung extrahiert werden soll, an zwei Stellen, nämlich der Gasturbine **11** und der Dampfturbine **14**, extrahiert werden kann. Demgemäß ist dadurch eine effizientere Energiegewinnung möglich.

**[0056]** Hierbei kann das Stromerzeugungssystem **10** einen anderen Weg aufweisen als den Weg des Dampfes, der in die Wärmetauschereinheit strömt. Man beachte, dass der Abluft-Wärmetauscher den Dampf verwenden kann, der einen Wärmeaustausch mit dem Abgas im Hochdruck-Dampfkreislaufmechanismus oder im Zwischendruck-Dampfkreislaufmechanismus durchlaufen hat und zur Turbine strömt.

**[0057]** Fig. 4 ist eine schematische Gestaltungsskizze, die ein anderes Beispiel für die Wärmetauschereinheit des Stromerzeugungssystems der Ausführungsform darstellt. Wie in Fig. 4 dargestellt wird, ist das Stromerzeugungssystem **10a** mit einer Wärmetauschereinheit **90a** versehen, die einen Wärmeaustausch zwischen der Abluft und abgeführtem Brenngas, die aus der SOFC **13** in Richtung auf die Gasturbine **11** gelenkt werden, und dem Dampf, der durch den Abhitze-Dampferzeuger **51** und die Turbine **52** strömt, durchführt. Die Wärmetauschereinheit **90a** weist einen Abluft-Wärmetauscher **98**, den Wärmetauscher **92** für abgeführtes Brenngas, den Brenngas-Wärmetauscher **94** und einen Brenngas-Wärmetauscher **99** auf.

**[0058]** Der Abluft-Wärmetauscher **98** ist in der Abluft-Zirkulationsleitung vorgesehen. Der Abluft-Wärmetauscher **98** führt einen Wärmeaustausch durch zwischen der Abluft, die durch die Abluft-Zirkulationsleitung strömt, und dem Dampf, der vom Abhitze-Dampferzeuger **51** überhitzt wird und zur Turbine **52** gelenkt wird, um die Temperatur der Abluft zu senken und die Temperatur des Dampfes zu erhöhen. Der Abluft-Wärmetauscher **98** erhält einen Zustrom von Dampf, der vom Zwischenüberhitzer **80b8** überhitzt worden ist, und liefert den Dampf, der einen Wärmeaustausch durchlaufen hat, zur Zwischendruck-turbine **52I**. Man beachte, dass in der Ausführungsform Dampf, der vom Zwischenüberhitzer **80b** zwischenüberhitzt wird, in den Abluft-Wärmetauscher **98** strömt; jedoch kann stattdessen Dampf verwendet werden, der vom Zwischenüberhitzer **80a** überhitzt wird. Der Abluft-Wärmetauscher **98**, der dazu dient, die Temperatur des hindurchströmenden Dampfes auf eine Temperatur zu senken, die für die Zufuhr zur Zwischendruck-turbine **52I** geeignet ist, kann Zustrom von dem Dampf erhalten, der zur Zwischendruck-turbine **52I** geliefert werden soll und vom Zwischenüberhitzer **72SH** überhitzt worden ist, wie

der Dampf, der vom Zwischenüberhitzer **80b** überhitzt worden ist.

**[0059]** Der Wärmetauscher **92** für abgeführtes Brenngas ist in der Zirkulationsleitung für abgeführtes Brenngas vorgesehen. Der Wärmetauscher **92** für abgeführtes Brenngas führt einen Wärmeaustausch durch zwischen dem abgeführten Brenngas, das durch die Zirkulationsleitung für abgeführtes Brenngas strömt, und dem Dampf, der vom Abhitze-Dampferzeuger **51** überhitzt wird und zur Turbine **52** gelenkt wird, um die Temperatur des abgeführten Brenngases zu senken und die Temperatur des Dampfes zu erhöhen. Der Wärmetauscher **92** für abgeführtes Brenngas erhält einen Zustrom von Dampf, der vom Zwischendrucküberhitzer **72SH** überhitzt worden ist, und liefert diesen Dampf, der einen Wärmeaustausch durchlaufen hat, zum Brenngas-Wärmetauscher **99**. Der Dampf, der zum Brenngas-Wärmetauscher **99** geliefert wird, wird dann zum Zwischenüberhitzer **80a** geliefert. Der Dampf, der dem Zwischenüberhitzer **80a** zugeführt wird, wird vom Zwischenüberhitzer **80b** weiter überhitzt und dann zur Zwischendruckturbine **52I** geliefert.

**[0060]** Der Brenngas-Wärmetauscher **94** ist ähnlich gestaltet wie der Brenngas-Wärmetauscher **94** der Wärmetauschereinheit **90**.

**[0061]** Der Brenngas-Wärmetauscher **99** ist in der Strömungsrichtung des Brenngases in Bezug auf den Brenngas-Wärmetauscher **94** weiter zur stromabwärtigen Seite der ersten Brenngas-Zufuhrleitung **27** hin angeordnet, das heißt, der Brenngas-Wärmetauscher **99** ist näher am Brenner **22** vorgesehen. Der Brenngas-Wärmetauscher **99** führt einen Wärmeaustausch zwischen dem Brenngas, das durch die erste Brenngas-Zufuhrleitung **27** strömt, das heißt, dem Brenngas, das zum Brenner **22** geliefert wird, und dem Dampf, der durch den Wärmetauscher **92** für abgeführtes Brenngas geströmt ist, durch. Der Brenngas-Wärmetauscher **99** erhöht die Temperatur des Brenngases und senkt die Temperatur des Dampfes. Der Brenngas-Wärmetauscher **99** erhöht die Temperatur des Brenngases, die vom Brenngas-Wärmetauscher **94** erhöht worden ist, weiter. Der Brenngas-Wärmetauscher **99** erhält einen Zustrom von Dampf, der durch den Wärmetauscher **92** geströmt ist, und liefert den geströmten Dampf mit durch Wärmeaustausch gesenkter Temperatur zum Zwischenüberhitzer **80a**. Die Wärmetauschereinheit **90a** ist gestaltet wie oben beschrieben.

**[0062]** Das Stromerzeugungssystem **10a** ist mit dem Abluft-Wärmetauscher **98** versehen und führt einen Wärmeaustausch zwischen der Abluft und dem Dampf durch, der vom Zirkulationsmechanismus **79** für zwischenüberhitzten Dampf zwischenüberhitzt worden ist, nachdem er vom Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus **70** überhitzt worden ist und zur

Hochdruckturbine **52H** geliefert worden ist, um die Temperatur der Abluft zu senken. Dadurch kann auch die Belastung der Abluft-Zirkulationsleitung, welche die Abluft zirkulieren lässt, verringert werden. Ferner kann dadurch, dass Dampf, der im Zirkulationsmechanismus **79** für zwischenüberhitzten Dampf überhitzt worden ist, einem Wärmeaustausch mit der Abluft unterzogen wird, die Temperatur der Abluft bei oder über einer hohen festgelegten Temperatur gehalten werden. Somit führt das Stromerzeugungssystem **10a** einen Wärmeaustausch zwischen der Abluft und dem Dampf so durch, dass die Belastung der Abluft-Zirkulationsleitung, welche die Abluft zirkulieren lässt, verringert werden kann, und außerdem der Dampf, der für den Wärmeaustausch verwendet wird, als Hochtemperaturdampf dient und die Abluft bei oder über einer festgelegten hohen Temperatur gehalten wird, um eine effizientere Gewinnung von Energie zu ermöglichen.

**[0063]** Das Stromerzeugungssystem **10a** führt außerdem einen Wärmeaustausch zwischen dem Dampf, der vom Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus **70** überhitzt wird und zur Hochdruckturbine **52H** gelenkt wird, und der Abluft und dem Dampf, der vom Zirkulationsmechanismus **79** für zwischenüberhitzten Dampf überhitzt wird und zur Zwischendruckturbine **52I** gelenkt wird, durch, um zu ermöglichen, dass die Temperatur der Abluft auf einen besser geeigneten Temperaturbereich gesenkt wird; somit wird dies bevorzugt, jedoch kann wie oben beschrieben auch der Dampf verwendet werden, der vom Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus **72** überhitzt und zur Zwischendruckturbine **52I** gelenkt wird. Man beachte, dass der Dampf vorzugsweise als Dampf dient, der von mindestens einem einstufigen Überhitzer oder Zwischenüberhitzer überhitzt worden ist.

**[0064]** Fig. 5 ist eine schematische Gestaltungsskizze, die ein anderes Beispiel für die Wärmetauschereinheit des Stromerzeugungssystems der Ausführungsform darstellt. Wie in Fig. 5 dargestellt wird, ist das Stromerzeugungssystem **10b** mit einer Wärmetauschereinheit **90b** versehen, die einen Wärmeaustausch zwischen der Abluft und abgeführtem Brenngas, die aus der SOFC **13** in Richtung auf die Gasturbine **11** gelenkt werden, und dem Dampf, der durch den Abhitze-Dampferzeuger **51** und die Turbine **52** strömt, durchführt. Die Wärmetauschereinheit **90b** ist mit dem Abluft-Wärmetauscher **91**, dem Abluft-Wärmetauscher **98**, den Wärmetauscher **92** für abgeführtes Brenngas, dem Brenngas-Wärmetauscher **94** und dem Brenngas-Wärmetauscher **96** versehen. Das heißt, das Stromerzeugungssystem **10b** besteht aus dem Stromerzeugungssystem **10** und zusätzlich dem Abluft-Wärmetauscher **98**. Man beachte, dass der Abluft-Wärmetauscher **98** Zustrom von Dampf erhält, der vom Zwischenüberhitzer **80a** überhitzt worden ist.

**[0065]** Das Stromerzeugungssystem **10b** verwendet sowohl den Abluft-Wärmetauscher **91** als auch den Abluft-Wärmetauscher **98**, um zu ermöglichen, dass die Temperatur des Abgases mit den beiden Wärmetauschern gesenkt wird. Ein solcher Wärmetauscher ist nicht auf eine Stufe beschränkt und kann auch mehrfach vorgesehen sein.

#### Bezugszeichenliste

<b>10, 10a, 10b</b>	Stromerzeugungssystem
<b>11</b>	Gasturbine
<b>12</b>	Stromgenerator
<b>13</b>	Festoxidbrennstoffzelle (SOFC)
<b>14</b>	Dampfturbine
<b>15</b>	Stromgenerator
<b>21</b>	Verdichter
<b>22</b>	Brenner
<b>23</b>	Turbine
<b>25</b>	Luftansaugleitung
<b>26</b>	Erste Druckluft-Zufuhrleitung
<b>27</b>	Erste Brenngas-Zufuhrleitung
<b>31</b>	Zweite Druckluft-Zufuhrleitung
<b>93</b>	Regelventil
<b>33, 48</b>	Gebläse
<b>34</b>	Abluftleitung
<b>36</b>	Druckluft-Zirkulationsleitung
<b>41</b>	Zweite Brenngas-Zufuhrleitung
<b>93</b>	Regelventil
<b>43</b>	Brenngasabfuhrleitung
<b>44</b>	Entsorgungsleitung
<b>45</b>	Zufuhrleitung für abgeführtes Brenngas
<b>93</b>	Regelventil
<b>49</b>	Brenngas-Rückführungsleitung
<b>50</b>	Rückführungsgebläse
<b>51</b>	Abhitze-Dampferzeuger
<b>52</b>	Turbine
<b>52H</b>	Hochdruckturbine
<b>52I</b>	Zwischendruckturbine
<b>52L</b>	Niederdruckturbine
<b>53</b>	Abgasleitung
<b>54</b>	Dampf-Zufuhrleitung
<b>55</b>	Wasser-Zufuhrleitung
<b>118a</b>	Kondensator
<b>57</b>	Wasserpumpenpumpe
<b>62</b>	Steuervorrichtung
<b>70</b>	Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus
<b>70D</b>	Hochdrucktrommel
<b>70EC</b>	Hochdruck-Economiser
<b>70EV</b>	Hochdruckverdampfer
<b>70SHa, 70SHb</b>	Hochdrucküberhitzer

<b>72</b>	Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus
<b>72D</b>	Zwischendrucktrommel
<b>72EC</b>	Zwischendruck-Economiser
<b>72EV</b>	Zwischendruckverdampfer
<b>72SH</b>	Zwischendrucküberhitzer
<b>74</b>	Niederdruck-Dampfzirkulationsmechanismus
<b>74D</b>	Niederdrucktrommel
<b>74EC</b>	Niederdruck-Economiser
<b>74EV</b>	Niederdruckverdampfer
<b>74SH</b>	Niederdrucküberhitzer
<b>76</b>	Vorerhitzer
<b>78H</b>	Hochdruckpumpe
<b>78I</b>	Zwischendruckpumpe
<b>78L</b>	Niederdruckpumpe
<b>79</b>	Zwischenüberhitzungs-Dampfzirkulationsmechanismus
<b>80a, 80b</b>	Zwischenüberhitzer
<b>90</b>	Wärmetauschereinheit
<b>91, 98</b>	Abluft-Wärmetauscher
<b>92</b>	Wärmetauscher für abgeführtes Brenngas
<b>94, 96, 99</b>	Brenngas-Wärmetauscher

#### Patentansprüche

1. Stromerzeugungssystem, umfassend:  
 eine Gasturbine mit einem Verdichter und einem Brenner;  
 eine Brennstoffzelle mit einer Lufterlektrode und einer Brennstoffelektrode;  
 eine Abluft-Zirkulationsleitung, die Abluft, die aus der Brennstoffzelle ausgestoßen wird, zur Gasturbine liefert;  
 eine Zufuhrleitung für abgeführtes Brenngas, die abgeführtes Brenngas, das aus der Brennstoffzelle ausgestoßen wird, zur Gasturbine liefert;  
 eine Turbine, die mit einer Hochdruckturbine, einer Zwischendruckturbine und einer Niederdruckturbine versehen ist;  
 einen Abhitze-Dampferzeuger, der mit Folgendem ausgestattet ist: Einem Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus, der Wärme aus Abgas zurückgewinnt, das aus der Gasturbine ausgestoßen wird, um Dampf zu erzeugen, und der erzeugten Dampf zur Hochdruckturbine liefert; einem Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus, der Wärme aus Abgas zurückgewinnt, das aus der Gasturbine ausgestoßen wird, um Dampf mit einem Druck zu erzeugen, der niedriger ist als der des Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus, und der erzeugten Dampf zur Zwischendruckturbine liefert; und einem Niederdruck-Dampfzirkulationsmechanismus, der Wärme aus Abgas zurückgewinnt, das aus der Gasturbine ausgestoßen wird, um Dampf mit einem Druck zu erzeugen, der niedriger ist als der des Zwischen-

druck-Dampfzirkulationsmechanismus, und der erzeugten Dampf zur Niederdruckturbine liefert; und mindestens einem Abluft-Wärmetauscher, der einen Wärmeaustausch durchführt zwischen Abgas, das durch die Abluft-Zirkulationsleitung strömt, und Dampf, der einen Wärmeaustausch mit dem Abgas im Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus oder im Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus durchlaufen hat und zur Turbine strömt, um eine Temperatur des Dampfes zu erhöhen und eine Temperatur des Brenngases zu senken.

2. Stromerzeugungssystem nach Anspruch 1, wobei

der Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus einen Hochdrucküberhitzer aufweist; wobei der Abluft-Wärmetauscher einen Wärmeaustausch zwischen Dampf, der vom Hochdrucküberhitzer überhitzt worden ist, und der Abluft durchführt; und wobei Dampf, der durch den Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus strömt, einen Wärmeaustausch mit dem Abluft-Wärmetauscher durchläuft und dann zur Hochdruckturbine geliefert wird.

3. Stromerzeugungssystem nach Anspruch 2, wobei

die Gasturbine eine Brenngas-Zufuhrleitung beinhaltet, die Brenngas zur Gasturbine liefert, und mindestens einen Brenngas-Wärmetauscher, der einen Wärmeaustausch zwischen dem Brenngas, das durch die Brenngas-Zufuhrleitung strömt, und Dampf, der einen Wärmeaustausch mit dem Abgas im Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus durchlaufen hat und zur Turbine strömt, durchführt, um eine Temperatur des Dampfes zu senken und um eine Temperatur des Brenngases zu erhöhen; und wobei

Dampf, der durch den Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus strömt, einen Wärmeaustausch mit dem Brenngas-Wärmetauscher, einen Wärmeaustausch mit dem Abluft-Wärmetauscher durchläuft und dann zur Hochdruckturbine geliefert wird.

4. Stromerzeugungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei

der Abhitze-Dampferzeuger ferner einen Zirkulationsmechanismus für zwischenüberhitzten Dampf aufweist, der mit einem Zwischenüberhitzer versehen ist, der eine Temperatur von gewonnenem Dampf mit Abgas erhöht, das aus der Gasturbine ausgestoßen wird, wobei der Zirkulationsmechanismus für zwischenüberhitzten Dampf den Dampf gewinnt, der durch die Hochdruckturbine strömt, eine Temperatur des gewonnenen Dampfes mit dem Zwischenüberhitzer erhöht und Dampf, dessen Temperatur erhöht worden ist, zur Zwischendruckturbine liefert; wobei der Abluft-Wärmetauscher einen Wärmeaustausch zwischen Dampf, der vom Zwischenüberhitzer überhitzt worden ist, und der Abluft durchführt; und wobei

Dampf, der durch den Zirkulationsmechanismus für zwischenüberhitzten Dampf strömt, einen Wärmeaustausch mit dem Abluft-Wärmetauscher durchläuft und dann zur Zwischendruckturbine geliefert wird.

5. Verfahren zum Betreiben eines Stromerzeugungssystem, das Folgendes aufweist: Eine Gasturbine mit einem Verdichter und einem Brenner; eine Brennstoffzelle mit einer Lufterlektrode und einer Brennstoffelektrode, eine Abluft-Zirkulationsleitung, die Abluft, die aus der Brennstoffzelle ausgestoßen wird, zur Gasturbine liefert; eine Zufuhrleitung für abgeführtes Brenngas, die abgeführtes Brenngas, das aus der Brennstoffzelle ausgestoßen wird, zur Gasturbine liefert; eine Turbine, die mit einer Hochdruckturbine, einer Zwischendruckturbine und einer Niederdruckturbine ausgestattet ist; und einen Abhitze-Dampferzeuger, der mit Folgendem ausgestattet ist: Einem Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus, der Wärme aus Abgas zurückgewinnt, das aus der Gasturbine ausgestoßen wird, um Dampf zu erzeugen, und der erzeugten Dampf zur Hochdruckturbine liefert, einem Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus, der Wärme aus Abgas zurückgewinnt, das aus der Gasturbine ausgestoßen worden ist, um Dampf mit einem Druck zu erzeugen, der niedriger ist als der des Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus, und der erzeugten Dampf zur Zwischendruckturbine liefert, und einem Niederdruck-Dampfzirkulationsmechanismus, der Wärme aus Abgas zurückgewinnt, das aus der Gasturbine ausgestoßen worden ist, um Dampf mit einem Druck zu erzeugen, der niedriger ist als der des Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus, und der erzeugten Dampf zur Niederdruckturbine liefert; wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

Das Durchführen eines Wärmetausches zwischen dem Abgas und Dampf, der durch den Hochdruck-Dampfzirkulationsmechanismus oder den Zwischendruck-Dampfzirkulationsmechanismus strömt; und nach der Durchführung dieses Wärmetausches: Das Durchführen eines Wärmetausches zwischen Dampf, der zur Turbine strömt, und Abgas, das durch die Abluft-Zirkulationsleitung strömt, um eine Temperatur des Dampfes zu erhöhen und um eine Temperatur des Abgases zu senken.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen



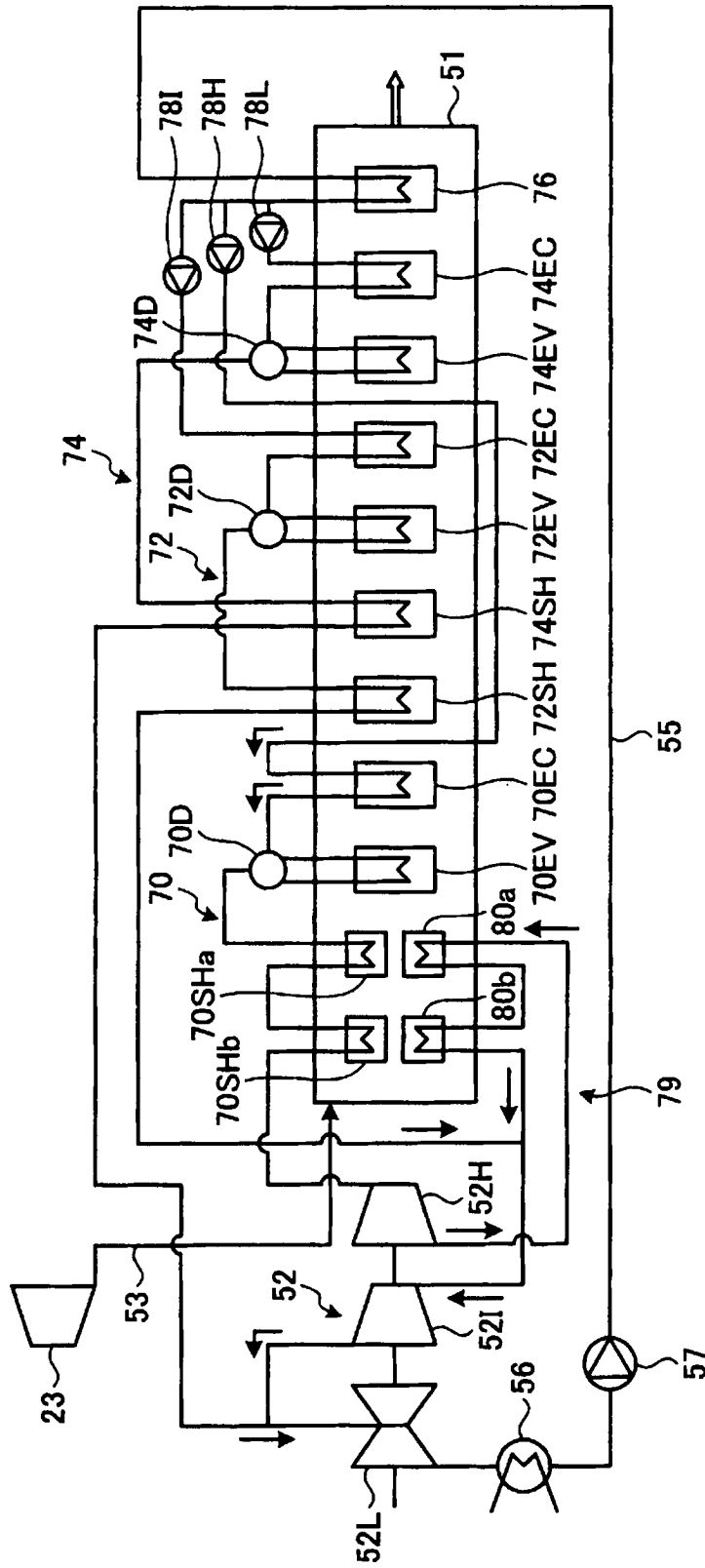


FIG. 2

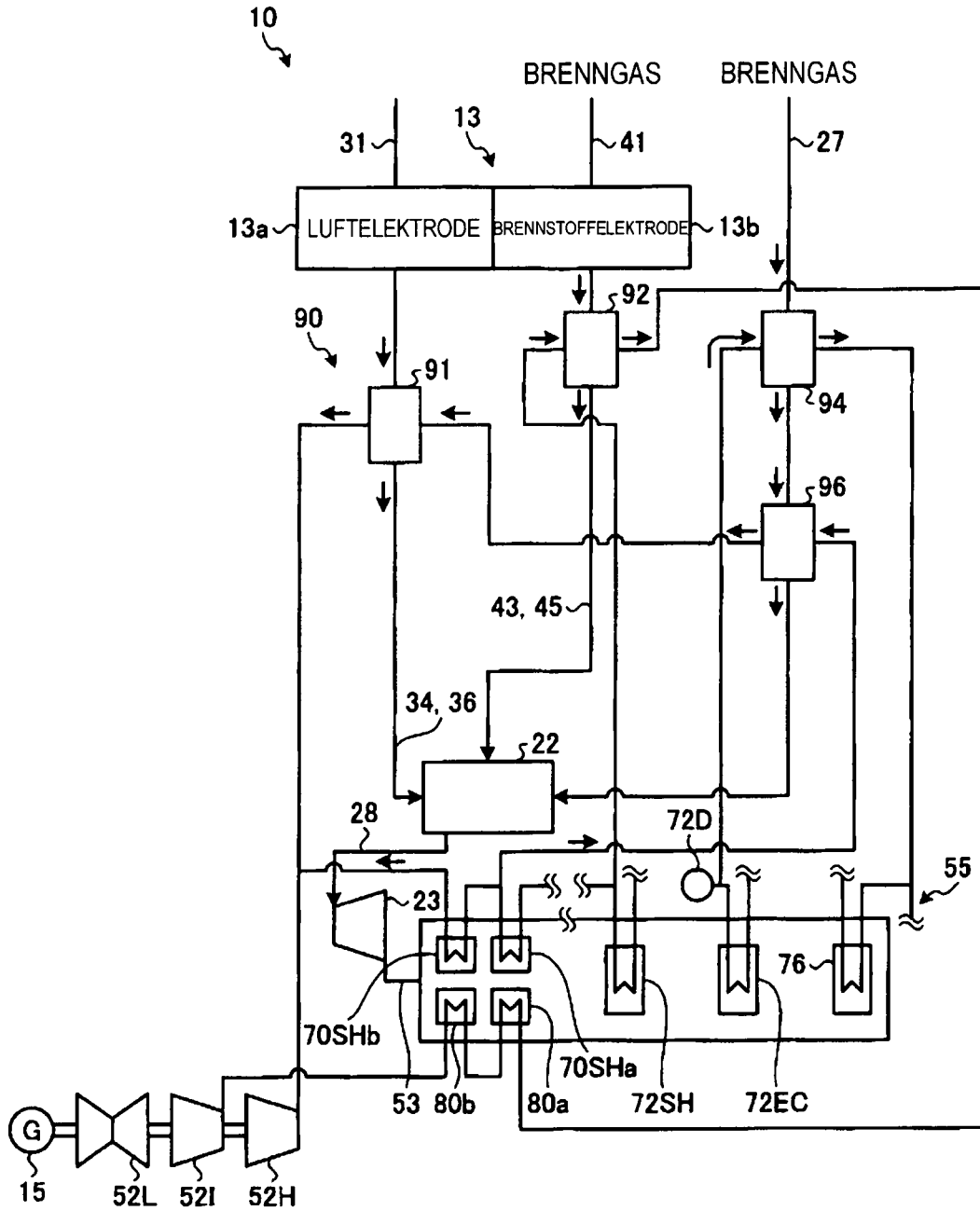


FIG. 3

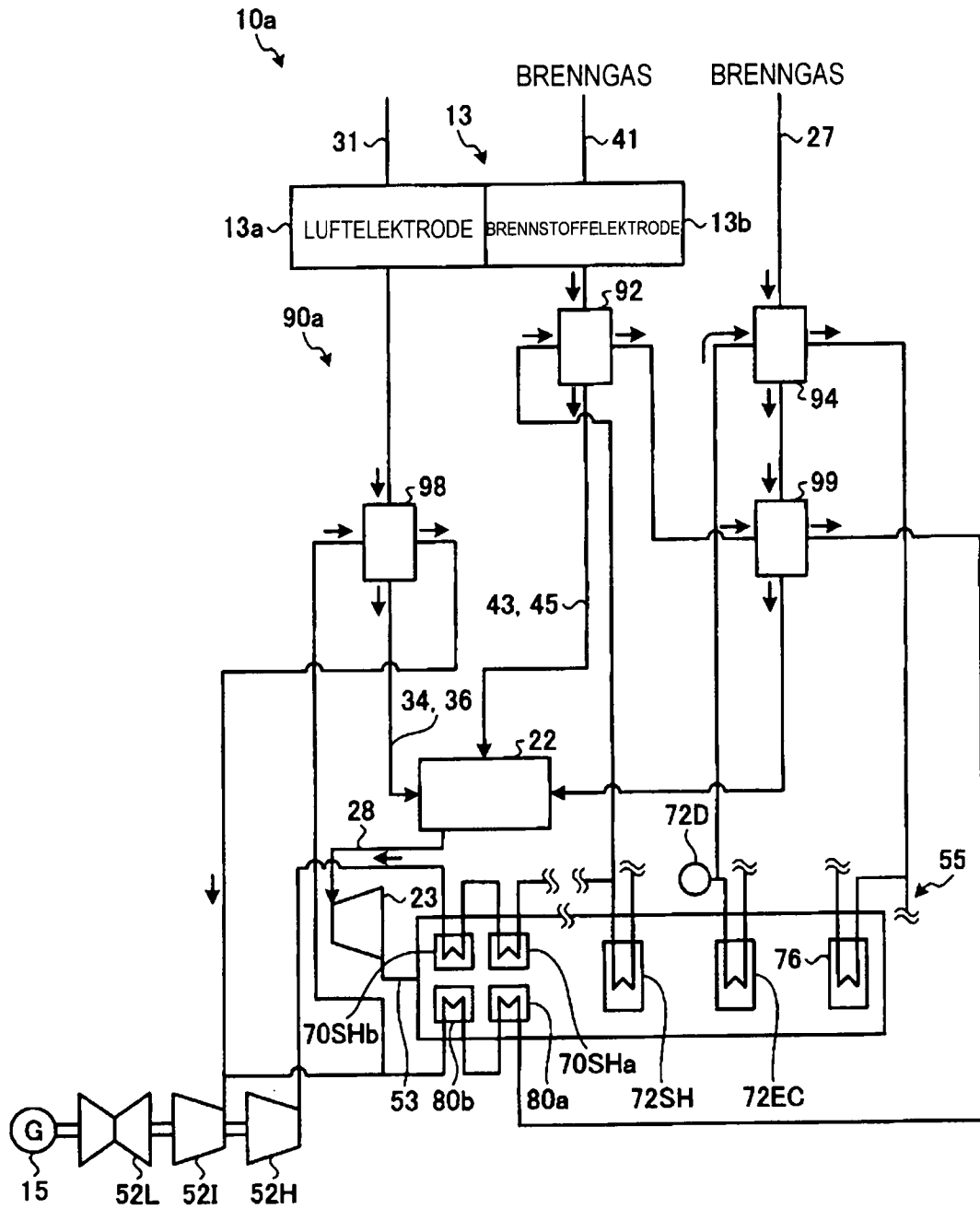


FIG. 4

