



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft  
Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum

(11) CH 700 310 A1

(51) Int. Cl.: B01D 53/00 (2006.01)  
F01K 23/10 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 00105/09

(71) Anmelder:  
ALSTOM Technology Ltd, Brown Boveri Strasse 7  
5400 Baden (CH)

(22) Anmeldedatum: 23.01.2009

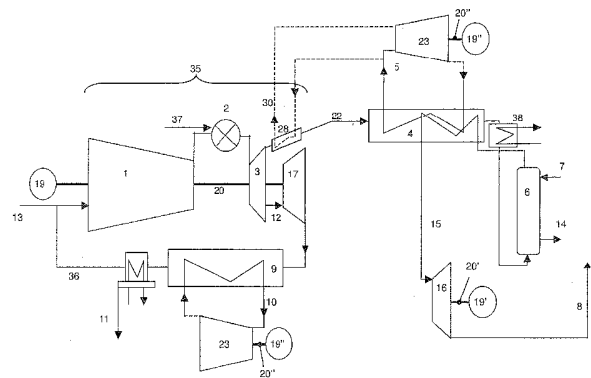
(72) Erfinder:  
Dr. Jürgen Gerhard Hoffmann, 5417 Untersiggenthal (CH)  
Hans Peter Knöpfel, 5605 Dottikon (CH)  
Dr. Hans Wettstein, 5442 Fislisbach (CH)

(43) Anmeldung veröffentlicht: 30.07.2010

(54) Verfahren zur CO<sub>2</sub> Abscheidung aus einem Kombikraftwerk und Kombikraftwerk mit einer Gasturbine mit Strömungsteilung und Rezirkulation.

(57) Die Erfindung betrifft Kombikraftwerke mit einer neuen Prozessführung, die eine-CO<sub>2</sub> Abscheidung optimiert in den Kraftwerksprozess einbindet sowie ein Verfahren zum Betrieb eines derartigen Kraftwerkes.

Der Kern der Erfindung ist ein Kombi-Kraftwerksprozess mit Abgasrezirkulation und CO<sub>2</sub>-Abscheidung. In dem vorgeschlagenen neuen Prozess wird in der Turbine vor der letzten Turbinenstufe eine Aufteilung des Heissgasstroms in einen Rezirkulationsstrom (12) und einen Abgasstrom durchgeführt. Ein erster Teilstrom verbleibt in der Turbine und verrichtet auf herkömmliche Art Expansionsarbeit, bevor seine Abwärme, zum Beispiel in einem Abwärmekessel, abgeleitet wird und die Gase in den Ansaugstrom der Gasturbine rezirkuliert werden. Ein zweiter Teilstrom wird vor der letzten Turbinenstufe abgezweigt und gibt seine Abwärme in einem HRSG/Wärmetauscher (4) ab, bevor CO<sub>2</sub> aus diesem Abgasstrom auf erhöhtem Druckniveau abgeschieden wird.



## Beschreibung

### Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft Verfahren zum Betrieb eines Kombikraftwerks mit einer CO<sub>2</sub> Abscheidung sowie ein derartiges Kraftwerk.

### Stand der Technik

[0002] Aufgrund der allgemein anerkannten Gefahr einer Klimaveränderung, besteht ein weltweites Interesse, den Ausstoss von Treibhausgasen, insbesondere an CO<sub>2</sub> (Kohlendioxid) zu reduzieren. Als realistischer Schritt den CO<sub>2</sub> Ausstoss in die Atmosphäre innerhalb relativ kurzer Zeit zu reduzieren wird die sogenannte CCS (carbon capture and storage) oder CCV-Sequestrierung, das heisst die Abtrennung des CO<sub>2</sub> aus dem Wärmekraftprozess eines Kraftwerkes und von der Atmosphäre getrennte Lagerung des abgetrennten CO<sub>2</sub>, angesehen. Die CO<sub>2</sub> Abtrennung erfolgt entweder aus den Abgasen nach der Verbrennung eines kohlenstoffhaltigen Brennstoffes oder durch eine chemische Reaktion, bei der der Kohlenstoff aus dem Brennstoff vor der Verbrennung abgeschieden wird. Die Regeneration von Absorbern, Absorbern oder anderen Mitteln zur CO<sub>2</sub> Abscheidung ist Bestandteil des CCS Prozesses.

[0003] Die Abscheidung von CO<sub>2</sub> nach der Verbrennung, auch Backend Capture oder Post Combustion Capture genannt, ist eine der vielversprechendsten CCS-Technologien und insbesondere auch für Kombi-Kraftwerke anwendbar.

[0004] Alle bekannten CCS-Technologien benötigen eine relative hohe Leistung. Bei dem Backend Capture ist der spezifische Energieaufwand pro Kilogramm abgeschiedenen CO<sub>2</sub> umgekehrt proportional zur CO<sub>2</sub> Konzentration in den Abgasen aus denen das CO<sub>2</sub> abgeschieden wird. Um CO<sub>2</sub> aus Gasströmen mit relativ niedrigen CO<sub>2</sub>- Gehalt abzuscheiden, wie er im Abgas herkömmlicher Gasturbinenkraftwerke oder Kombi-Kraftwerk (Combined Cycle Power Plant oder Gasturbinenkraftwerke mit Kraft- Wärmekopplung) zu finden ist, ist entsprechend ein relativ hoher Energieaufwand pro kg abgeschiedenem CO<sub>2</sub> erforderlich. Der CO<sub>2</sub>- Gehalt in den Abgasen ist von der Art der Gasturbine, dem verwendeten Brenngas sowie dem Betriebspunkt der Gasturbine abhängig. Es sind verschiedene Konzepte um die CO<sub>2</sub> Konzentration in den Abgasen und damit die Effizienz der Abscheidung zu erhöhen, vorgeschlagen worden. Ein Konzept ist die Abgasrezirkulation, wie sie beispielsweise von O. Bolland and S. Saether in «NEW CONCEPTS FOR NATURAL GAS FIRED POWER PLANTS WHICH SIMPLIFY THE RECOVERY OF CARBON DIOXIDE» (Energy Convers. Mgmt Vol. 33, No. 5-8, pp. 467-475, 1992) vorgeschlagen wurde. Ein anderes Konzept ist die Reihenschaltung von CCGT, wie sie z.B. in der US2008/0060346 vorgeschlagen wurde. Bei ihr werden die Abgase von einem ersten CCGT abgekühlt und als Einlassgas für ein zweites CCGT genutzt. Die Abgase des zweiten CCGT werden gekühlt und dann zur CO<sub>2</sub> Abscheidung geleitet. Damit wird der CO<sub>2</sub>- Gehalt in den Abgasen praktisch verdoppelt, der Gasamtmassenstrom an zu behandelnden Abgase halbiert und die benötigte Anlagengrösse und Energieverbrauch entsprechend reduziert.

[0005] Weiter wurde in der Vergangenheit vorgeschlagen die CO<sub>2</sub> Absorption bei erhöhtem Druck durchzuführen. Damit kann aufgrund der reduzierten Volumenströme die Anlagengrösse reduziert werden und eine erhöhte Kapazität des Absorptionsmittels bei erhöhtem Druck ausgenutzt werden. Dafür wird in der WO 00/48709 ein Wiederverdichten der Abgase zur Absorption mit anschliessender Erhitzung und Expansion in einer Turbine vorgeschlagen. Da die Energie zur CO<sub>2</sub> Absorption bei hohem Druck umgekehrt proportional zum CO<sub>2</sub> Partialdruck ist, könnte idealer Weise der Energieaufwand durch Absorption bei erhöhtem Druck zu einer Effizienzsteigerung führen. Da die zusätzliche Verdichtung unvermeidbare Verluste mit sich bringt, geht aber mindestens ein Teil des positiven Effektes verloren.

### Darstellung der Erfindung

[0006] Der vorliegenden Erfindung ist die Aufgabe gestellt, ein Verfahren zum auf Gesamtwirkungsgrad optimierten Betrieb eines Kombi-Kraftwerks mit CO<sub>2</sub> Abscheidung, das eine kleine Baugrösse der CO<sub>2</sub> Absorptionsanlage erlaubt, sowie ein Kraftwerk zur Durchführung dieses Verfahrens vorzuschlagen. Als Kombi-Kraftwerk wird dabei ein CCGT (Combined Cycle Power Plant), auch GUD (Gas- und Dampf- Kombikraftwerk) genannt, oder ein anderes auf einer Gasturbine basierendes Kraftwerk mit Kraft- Wärmekopplung bezeichnet.

[0007] Der Kern der Erfindung ist ein Verfahren zur CO<sub>2</sub> Abscheidung aus einem Kombi-Kraftwerkes mit Abgasrezirkulation in den Ansaugstrom einer Gasturbine, wobei CO<sub>2</sub> aus einem abgezweigten Abgasstrom abgeschieden wird. In dem vorgeschlagenen neuen Verfahren wird eine Aufteilung des Heissgasstroms der Gasturbine in zwei Teilströme nach einer Hochdruckturbine durchgeführt. Ein erster Teilstrom, der Rezirkulationsstrom, verrichtet auf herkömmliche Art Expansionsarbeit, bevor seine Abwärme nutzbar, zum Beispiel in einem Abwärmekessel (im Weiteren HRSG genannt), abgeleitet wird und die Gase in den Ansaugstrom der Gasturbine rezirkuliert werden. Ein zweiter Teilstrom, der Abgasstrom, wird nach der Hochdruckturbine abgezweigt und gekühlt wird, z.B. durch Wärmeabgabe in einem HRSG/ Wärmetauscher, bevor CO<sub>2</sub> aus diesem Abgasstrom auf erhöhtem Druckniveau abgeschieden wird.

[0008] Vorteil dieses Verfahrens ist die CO<sub>2</sub> Abscheidung auf erhöhtem Druckniveau, ohne dass eine Wiederverdichtung der Abgase erforderlich ist. Da mit steigendem Druck die Abgasvolumenströme kleiner werden, erlaubt dies eine kleinere Baugrösse der CO<sub>2</sub> Abscheidung. Ausserdem werden Verluste durch Expansion und nachfolgende Wiederverdichtung vermieden und damit der Gesamtwirkungsgrad verbessert.

**[0009]** Abhängig von dem Druckniveau der Abgase nach der CO<sub>2</sub> Abscheidung werden diese entweder in einer Luftturbine unter Leistungsabgabe entspannt, oder in dem HRSG/ Wärmetauscher wieder erhitzt und anschliessend in einer Luftturbine unter Leistungsabgabe entspannt. Eine direkte Entspannung oder eine direkte Abgabe der Abgase an die Umgebung ist ausserdem möglich.

**[0010]** In einer Ausführung wird CO<sub>2</sub> durch kryogene Abscheidung vom Abgas getrennt. Die vorgeschlagene kryogene Abtrennvorrichtung ist eine Dralldüse durch die der zu behandelnde Gasstrom strömt. In dieser wird das Gas stark beschleunigt und dadurch abgekühlt. Bei ausreichender Vorkühlung sinkt die Temperatur in der Dralldüse unter die Sublimationstemperatur von CO<sub>2</sub> und das CO<sub>2</sub> fällt aus. Aufgrund des starken Dralls in der Dralldüse wird das sublimierte CO<sub>2</sub> durch Zentrifugalkräfte an den Aussenwänden der Düse konzentriert und von dort abgeschieden. Eine derartige Dralldüse ist beispielsweise in der WO2008/017577 beschrieben. Eine geeignete Vorkühlung kühlt den Gasstrom typischerweise auf Temperaturen zwischen -40°C und -60°C. Je nach Dralldüse und zur Verfügung stehenden Druckgefälle ist die Vorkühlungstemperatur einzustellen; Bereiche zwischen -30°C und -70°C sind denkbar. Aufgrund des Druckverlustes der Dralldüse ist der Druck nach Dralldüse deutlich abgesenkt.

**[0011]** In Ausführungen der Erfindung, bei denen der Austrittsdruck nach CO<sub>2</sub> Abtrennung über dem Umgebungsdruck liegt, kann eine nutzbringende Expansion in einer nachgeschalteten Turbine vorgesehen werden. In einer Ausführung werden die Druckverhältnisse so gewählt, dass der Druck nach Dralldüse praktisch der Umgebungsdruck oder der Umgebungsdruck plus die Druckverluste von nachgeschalteten Abgasleitungen ist.

**[0012]** Als Hochdruckturbine ist im Rahmen dieser Schrift der Teil einer Turbine bezeichnet, der sich stromab einer Brennkammer und stromauf der Aufteilung des Heissgasstroms befindet. Dabei kann die Turbine eine Ein- oder Mehrwellen-Turbine sein. Der Teil der Turbine, der sich stromab der Aufteilung des Heissgasstroms befindet, wird als Niederdruckturbine bezeichnet. Er kann Teil einer Einwellenturbine sein, die Leistungsturbine einer Mehrwellenturbine sein oder eine separate Luftturbine sein.

**[0013]** In einer Ausführung werden die Heissgase in einer Einwellenturbine entspannt.

**[0014]** In einer weiteren Ausführung der Erfindung werden die Heissgase in einer Mehrwellengasturbine entspannt. Diese Mehrwellenturbine besteht aus einer Kernturbine, auch Gasgenerator genannt, mit auf mindestens einer Welle angeordnetem Verdichter und Turbine und mindestens einer Brennkammer sowie einer nachgeschalteten Arbeitsturbine auf separater Welle. Mehrwellengasturbinen sind beispielsweise für kleinere industrielle Gasturbinen oder sogenannte Aero-derivatives bekannt. Erfindungsgemäss wird hier die Aufteilung des Gasstroms zwischen Kernturbine und Arbeitsturbine durchgeführt und die Arbeitsturbine modifiziert, um sie auf den verkleinerten Abgasstrom, der rezirkuliert wird, anzupassen. Dieser verkleinerte erste Teilstrom verrichtet auf herkömmliche Art Expansionsarbeit, bevor seine Abwärme in einem HRSG weiter genutzt wird und die Abgase in den Ansaugstrom der Gasturbine rezirkuliert werden. Ein zweiter Teilstrom wird vor der letzten Turbinenstufe abgezweigt und gibt seine Abwärme in einem HRSG/ Wärmetauscher ab, bevor CO<sub>2</sub> aus diesem Abgasstrom auf erhöhtem Druckniveau abgeschieden wird. Abhängig von dem Druckniveau der Abgase nach CO<sub>2</sub> Abscheidung werden die Abgase in dem HRSG/ Wärmetauscher wieder erhitzt und in einer Luftturbine unter Leistungsabgabe entspannt.

**[0015]** In noch einer weiteren Ausführung wird die Gasturbine als Kernturbine ausgeführt, in der die gesamten Heissgase nicht auf Umgebungsdruck, sondern zu einem erhöhten Druckniveau entspannt werden, so dass die Turbine den Verdichter antreibt und keine Arbeit nach aussen abgegeben wird. Die heissen Austrittsgase dieser Kernturbine werden in zwei Ströme aufgeteilt werden. Ein erster Teilstrom wird über eine Arbeitsturbine entspannt, einem HRSG zugeführt und nach Rückkühlung in den Ansaugstrom der Gasturbine rezirkuliert. Der zweite Teilstrom wird durch einen HRSG/ Wärmetauscher geführt, bevor aus diesem Gasmassenstrom CO<sub>2</sub> auf erhöhtem Druckniveau abgeschieden wird. Abhängig von dem Druckniveau der Abgase nach CO<sub>2</sub> Abscheidung werden die Gase in dem HRSG/ Wärmetauscher wieder erhitzt und in einer Luftturbine unter Leistungsabgabe entspannt, ohne Wiedererwärmen in einer Turbine entspannt oder direkt an die Umgebung abgegeben.

**[0016]** In Ausführungen mit CO<sub>2</sub> Abscheidung durch Absorption oder Adsorption sind die CO<sub>2</sub>- armen Abgase auf einem erhöhten Druckniveau verfügbar und sie werden typischerweise nutzbringend in einer nachgeschalteten Turbine entspannt.

**[0017]** Vorteilhaft für diese Anordnungen ist, dass der Druck der Gase aus denen CO<sub>2</sub> abgeschieden wird deutlich über Ambient ist, wodurch die Anlagengrösse der CO<sub>2</sub> Abscheidung reduziert werden kann, da diese in erster Näherung umgekehrt proportional zum Druck ist.

**[0018]** Wenn die Resorption ebenfalls bei Überdruck erfolgt wird ausserdem die Kompressionsarbeit für Transport und Entlagerung des CO<sub>2</sub> deutlich reduziert.

**[0019]** Weiter besteht damit die Möglichkeit eine Absorption oder Adsorption unter erhöhtem Druck durch zu führen und bei Umgebungsdruck zu resorbieren bzw. entgasen. Dafür muss nur das flüssige Ab- oder Adsorptionsmittel mit relativ geringem Energieaufwand komprimiert werden, die Absorption oder Adsorption erfolgen und anschliessend die mit CO<sub>2</sub> angereicherte Flüssigkeit entspannt werden. Die Resorption oder Entgasung kann so mit relativ geringem Energieaufwand realisiert werden, das CO<sub>2</sub> wird allerdings auf einem tieferen Druckniveau frei.

[0020] Die Leitungen, Diffusoren, Plena und andere Bauteile zur Führung der heissen Gase nach dem Gaserzeuger sind in einer Ausführung zumindest teilweise gekühlt ausgeführt. Insbesondere wird vorgeschlagen, diese Bauteile mit Dampf zu kühlen. Diese Dampfkühlung wird in den Dampfkreislauf integriert und damit der Frischdampf weiter überhitzt. Durch die Integration in den Dampfkreislauf kann die Frischdampftemperatur deutlich über die eines herkömmlichen Gasturbinenkombikraftwerkes angehoben werden und die Effizienz des Dampfkreislaufes erhöht werden.

[0021] Um den Anteil des Rezirkulationsstromes an dem Gesamtmassenstrom durch die Gasturbine zu regeln, wird eine variable Geometrie in mindestens einem der Strömungswege vorgeschlagen. Beispielsweise kann die Geometrie des Strömungsteilers variabel verstellbar sein. Weiter kann beispielsweise mindestens eine Leitschaufelreihe der Niederdruckturbine oder Luftturbine variabel verstellbar sein.

[0022] Durch die Abzweigung der Abgase zu einer CO<sub>2</sub> Abscheidung bei erhöhtem Druck aus der Turbine wird eine Expansion mit anschliessender Kompression vermieden. Verluste in Turbine und Verdichter werden damit ebenfalls vermieden.

[0023] In einer weiteren Ausführung wird das Verfahren auf ein Kombi-Kraftwerk mit einer Gasturbine mit sequentieller Verbrennung vorgeschlagen. Herkömmliche Gasturbinen mit sequentieller Verbrennung sind beispielsweise aus der EP0620362 bekannt. Eine derartige Gasturbine hat mindestens einen Verdichter, dem eine erste Brennkammer und eine erste Turbine folgt. Der Abgasstrom der ersten Turbine wird in einer zweiten Brennkammer wieder erwärmt, bevor er in einer zweiten Turbine weiter entspannt wird.

[0024] In dem vorgeschlagenen neuen Verfahren wird die Heissgasströmung in der zweiten Turbine aufgeteilt. Ein erster Teilstrom verbleibt in der zweiten Turbine und leistet Expansionsarbeit, gibt in einem HRSG seine nutzbare Wärme ab und wird rezirkuliert. Ein zweiter Teilstrom wird vor der letzten Turbinenstufe der zweiten Turbine abgezweigt und gibt in einem HRSG/ Wärmetauscher seine nutzbare Wärme ab, bevor er einer CO<sub>2</sub> Abscheidung zugeführt wird. Weitere Verfahren zur Nutzung der CO<sub>2</sub> armen Abgase mit oder ohne Wiedererhitzung und Expansion ergeben sich dem Fachmann aus den Ausführungen zur Gasturbinen mit einfacher Brennkammer.

[0025] Neben dem Verfahren ist eine Kraftwerksanlage für die optimierte CO<sub>2</sub> Abscheidung, gekennzeichnet durch wenigstens eine Heissgasabzweigung in einer Turbine, eine Rückführung von Abgasen in die Verdichtereintrittsluft, sowie eine Abscheidanlage zur CO<sub>2</sub> Abscheidung aus den abgezweigten Heissgasen, Gegenstand der Erfindung.

[0026] Eine Ausführung ist ein Kombi-Kraftwerk mit Strömungsverzweigung zwischen Hochdruck- und Niederdruckturbine der Gasturbine. Dabei sind die Hochdruck- und Niederdruckturbine je eine mindestens einstufige Turbine. Diese Ausführung verfügt, wie alle weiteren Ausführungen, über eine Vorrichtung zur Kühlung und Abwärmenutzung des zu rezirkulierenden Gasstroms, eine Vorrichtung zur Kühlung und Abwärmenutzung des abgezweigten Abgasstromes sowie eine Vorrichtung zur Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus dem abgezweigten Abgasstrom.

[0027] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben und ergeben sich aus der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen. Alle erläuterten Vorteile sind nicht nur in den jeweils angegebenen Kombinationen, sondern auch in anderen Kombinationen oder Alleinstellung verwendbar, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

[0028] Eine Ausführung zeichnet sich beispielsweise durch ein hohes Druckverhältnisse aus, um das Temperaturniveau bei der Abzweigung zu reduzieren. Ein Druckverhältnis von 20 oder mehr, insbesondere von grösser 30 ist vorteilhaft, um eine ungekühlte Abzweigung mit kostengünstigen Materialien zu realisieren. Bei Gasturbinen mit sequentieller Verbrennung kann das Druckverhältnis beispielsweise noch weiter erhöht werden, damit auch über die zweite Turbine noch ein ausreichend hohes Druckverhältnis zur Reduktion des Temperaturniveaus bei der Abzweigung zu realisieren.

[0029] Entsprechend dem hohen Druckverhältnis wird ausserdem ein Verdichter mit Zwischenkühlung vorgeschlagen.

[0030] Weiter ist eine Brenngasvorwärmung mit Niedertemperaturwärme des Kraftwerkes eine Möglichkeit den Gesamtwirkungsgrad der Anlage zu erhöhen.

[0031] Analog kann Niedertemperaturwärme nutzbringend auch zur Regeneration des CO<sub>2</sub> Absorptions- oder Adsorptionsmittels verwendet werden. Neben bekannten Quellen aus den verschiedenen Dampfkreisläufen der Anlage kann hierfür auch Wärme aus Kühlturmkühlern der Gasturbine verwendet werden.

[0032] Weiter kann die Gasturbine mit geschlossener oder offener Dampfkühlung der Brennkammer und/ oder der Turbine vorgesehen werden. Die über die geschlossene Dampfkühlung abgeführte Wärme kann in den Dampfkreisläufen zur Erzeugung elektrischer Energie über die Dampfturbinen und/ oder als Prozesswärme verwendet werden. Die Kühlsysteme sind dafür geschlossene oder zumindest teilgeschlossene Kreisläufe.

### **Kurze Beschreibung der Zeichnungen**

[0033] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in den Fig. 1 bis 10 schematisch dargestellt.

[0034] Es zeigen:

## CH 700 310 A1

- Fig. 1 ein CCPP mit dampfgekühltem Strömungsteiler in einer Einwellen-Gasturbine, Rezirkulation eines Abgasteilstroms und Abzweigung eines zweiten Abgasteilstroms für Backend Capture mit optimierter Dampferzeugung,
- Fig. 2 ein CCPP mit Strömungsteiler in einer Einwellen- Gasturbine, Rezirkulation eines Abgasteilstroms und Abzweigung eines zweiten Abgasteilstroms für Backend Capture mit zur Nachexpansion der Abgase optimierter Wiedererhitzung,
- Fig. 3 ein CCPP mit Strömungsteiler in einer Zweiwellen- Gasturbine, Rezirkulation eines Abgasteilstroms und Abzweigung eines zweiten Abgasteilstroms für Backend Capture mit optimierter Dampferzeugung,
- Fig. 4 ein CCPP mit Strömungsteilung nach einer Kernturbine, Rezirkulation eines Abgasteilstroms und Abzweigung eines zweiten Abgasteilstroms für Backend Capture sowie Nachexpansion der rezirkulierten Gase und der Abgase in einer separaten Turbine,
- Fig. 5 ein CCPP mit Strömungsteiler in einer Einwellen-Gasturbine, Rezirkulation eines Abgasteilstroms und Abzweigung eines zweiten Abgasteilstroms für kryogenes Backend Capture durch Kühlung und Expansion der Abgase in einer Dralldüse,
- Fig. 6 einen Schnitt durch eine Turbine mit Strömungsteiler zwischen der letzten und der vorletzten Turbinenstufe,
- Fig. 7 einen Schnitt durch eine Turbine mit Strömungsteiler vor der vorletzten Turbinenstufe,
- Fig. 8 einen Schnitt durch eine Turbine mit Strömungsteiler vor der letzten Turbinenstufe und Dampfkühlung der Leitschaufelträger im Bereich des Entnahmestroms.
- Fig. 9 einen Schnitt durch eine Turbine mit Strömungsteiler und Verstellring zur Regelung des Entnahmestroms.
- Fig. 10 eine Einwellenanordnung mit je einer Niederdruckturbine zur Rezirkulation und einer Luftturbine zur Entspannung der CO<sub>2</sub> armen Abgase,
- Fig. 11 ein CCPP mit dampfgekühltem Strömungsteiler in einer Einwellen-Gasturbine, Rezirkulation eines Abgasteilstroms, Abzweigung eines zweiten Abgasteilstroms für Backend Capture und Rekuperator.

### Ausführung der Erfindung

**[0035]** Fig.1 zeigt ein CCPP zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens. Es besteht aus einer Gasturbinenanlage, die auf an sich bekannte Weise einen Verdichter 1, eine Brennkammer 2, eine Turbine, sowie einen Generator 19 umfasst. Typischerweise ist der Generator 19 am kalten Ende der Gasturbine 35, dass heisst am Verdichter 1 angekuppelt. Die Turbine ist in eine Hochdruckturbine 3 und Niederdruckturbine 17 aufgeteilt. Die Turbine treibt über eine Welle 20 den Verdichter 1 und den Generator 19 an.

**[0036]** Der Brennstoff 37, Gas oder Oil, wird in der Brennkammer 2 mit im Verdichter 1 komprimierten Gasen vermischt und verbrannt. Die Heissgase werden unter Arbeitsabgabe in der mindestens einen nachfolgenden Turbine entspannt. Erfindungsgemäss wird ein erster Teil der Heissgase als Entnahmestrom 22 nach der Hochdruckturbine 3 abgezweigt und ein zweiter Teil wird in der Niederdruckturbine 17 unter Leistungsabgabe entspannt und nach Abgabe der nutzbaren Wärme und Rückkühlung rezirkuliert.

**[0037]** Zur Rückführung des rückgekühlten Rezirkulationsstroms 36 und Vermischung des rückgekühlten Rezirkulationsstroms 36 mit der Ansaugluft 13, umfasst das CCPP eine Rückführungsleitung, einen HRSG 9 und einen Kühler mit Kondensatabscheider 11. Der Frischdampf 10 des HRSGs 9 wird zur Leistungsabgabe an eine Dampfturbine 23 oder nutzbringend für Kraft-Wärmekopplung, auch Cogeneration genannt, eingesetzt. Die Dampfturbine 23 treibt in dem gezeigten Beispiel über eine Welle 20' einen Generator 19' an. Der HRSG 9 mit Dampfkreislauf ist stark vereinfacht dargestellt. Kondensator, Speisewasserpumpen und bekannte Komponenten des Dampfkreislaufes sind zur Vereinfachung nicht dargestellt. Typischerweise wird der Dampfkreislauf als Mehrdruckkreislauf durchgeführt.

**[0038]** Der abgezweigte zweite Teilstrom wird als Entnahmestrom 22 in einem HRSG/ Wärmetauscher 4 gekühlt und dann durch einen CO<sub>2</sub> Absorber 6 geleitet. Typischerweise ist nach dem HRSG/ Wärmetauscher 4 noch ein Kühler 38 angeordnet, der den Entnahmestrom 22 auf ein, für eine effektive Absorption geeignetes, Temperaturniveau kühlt. Anschliessend werden die CO<sub>2</sub> armen Abgase in dem HRSG/ Wärmetauscher 4 wieder erwärmt und die CO<sub>2</sub> armen Druckabgase 15 unter Leistungsabgabe in der Luftturbine 16 entspannt, bevor sie als CO<sub>2</sub>-armes Abgas 8 an die Umgebung abgegeben werden. Die Luftturbine 16 treibt über eine Welle 20' einen Generator 19' an.

**[0039]** Die in dem Kühler 38 abgeführte Niedertemperaturwärme kann beispielsweise zur Speisewasservorwärmung in einem der Dampfprozesse und/ oder zur Vorwärmung des Brenngases 37 verwendet werden.

**[0040]** Bei der Kühlung des Entnahmestroms 22 in dem HRSG/ Wärmetauscher 4 wird Dampf erzeugt, der in einer Dampfturbine 23 eines Dampfkreislaufes Leistung abgibt. In diesem Beispiel wird die Leistung über eine Welle 20'' an einen Generator 19'' übertragen. Dieser Dampf oder ein weiterer Dampfstrom wird in einem dampfgekühlten Diffusor 28 und

oder Leitungen durch die der Entnahmestrom 22 aus der Turbine abgezweigt wird, überhitzt. Weitere Komponenten des Dampfkreislaufs, wie Hilfssysteme, Kondensator und Speisewasserpumpen sind zur Vereinfachung hier und in den folgenden Bildern nicht dargestellt.

**[0041]** Der HRSG/Wärmetauscher 4 kann als eine beide Funktionen integrierende Komponente gefertigt sein oder aus zwei in Reihe angeordneten Komponenten bestehen. Der in Fig. 1 gezeigte HRSG/ Wärmetauscher 4 ist auf eine hohe Dampfproduktion und hohe Dampftemperatur ausgelegt. Der Wärmetauscherteil, der die CO<sub>2</sub>-armen Druckabgase zur Entspannung 15 wieder erwärmt, ist auf den kühleren, stromab gelegenen Teil des HRSG/ Wärmetauscher 4 beschränkt. Mehr als 50% der nutzbaren Abwärme wird in diesem Beispiel zur Dampfproduktion ausgekoppelt.

**[0042]** Prinzipiell können verschiedene Techniken zur CO<sub>2</sub> Abscheidung, wie Druckwechselabsorption, chemische Absorption, Adsorption oder Membran-Abscheidung angewandt werden. Die Regeneration eines mit CO<sub>2</sub> gesättigten Absorptionsmittels 14, durch die dem CO<sub>2</sub> Absorber 6 eine CO<sub>2</sub> Absorptionsflüssigkeit 7 zur Verfügung gestellt wird, ist an sich ebenfalls bekannt und hier nicht dargestellt.

**[0043]** Fig. 2 zeigt ebenfalls ein CCPP mit Strömungsteilung in einer Einwellen-Gasturbine, Rezirkulation eines Abgasteilstroms und Backend Capture aus einem zweiten Abgasteilstrom. Dieses CCPP ist für eine Wiedererhitzung zur Nachexpansion der Abgase optimiert. Erfindungsgemäss wird auch hier ein erster Teil der Heissgase als Entnahmestrom 22 nach der Hochdruckturbinen 3 abgezweigt und ein zweiter Teil wird in der Niederdruckturbinen 17 unter Leistungsabgabe entspannt und nach Wärmeabgabe und Kühlung rezirkuliert.

**[0044]** Im Gegensatz zu Fig. 1 ist hier auf eine Dampfkühlung des Diffusors und der Leitungen, die den Entnahmestrom 22 zu dem HRSG/Wärmetauscher 4 führen, verzichtet.

**[0045]** Weiter ist der HRSG/ Wärmetauscher 4 auf eine grosse Wärmetauscherleistung ausgelegt und es wird nur eine kleine Menge Frischdampf oder Heissdampf zur Dampfturbine/ Cogeneration 5 erzeugt. Mehr als 50% der Wärme wird in diesem Beispiel zur Wiedererwärmung der CO<sub>2</sub>-armen Abgase genutzt.

**[0046]** Zusätzlich ist in Fig. 2 noch eine Desorptionskolonne 39 gezeigt in der das CO<sub>2</sub> gesättigte Absorptionsmittel 14 regeneriert wird und die den CO<sub>2</sub> Absorber 6 mit CO<sub>2</sub> Absorptionsflüssigkeit 7 versorgt. Zur Regeneration wird das CO<sub>2</sub> gesättigte Absorptionsmittel 7 in einem Wärmetauscher 42 durch regeneriertes Absorptionsmittel 7 vorgewärmt. Weiter wird die Desorptionskolonne 39 mit Dampf 41 als Wärmequelle zur Resorption versorgt. Dieser wird beispielsweise von der Dampfturbine 23 abgezweigt wird. Weiter kann Restwärme aus dem CO<sub>2</sub> armen Abgas 8 oder andere Niedertemperaturwärme des Prozesses genutzt werden.

**[0047]** Vorteilhaft bei dieser Anordnung und Prozessführung ist, dass die Resorption unter Druck erfolgt und damit CO<sub>2</sub> unter Überdruck aus der Resorptionskolonne 39 austritt. Das Druckverhältnis, mit dem das CO<sub>2</sub> zum weiteren Transport oder Lagerung verdichtet werden muss ist entsprechend kleiner und die benötigte Verdichtungsarbeit wird reduziert.

**[0048]** Die Abgastemperatur nach der Luftturbine 16 kann bei dieser Ausführung so hoch sein, dass ein weiterer HRSG 9 die verbleibende Restwärme der CO<sub>2</sub>-armen Abgase 8 weiter zur Dampferzeugung nutzen kann (in diesem Beispiel nicht gezeigt).

**[0049]** In Fig. 3 ist ein CCPP mit Strömungsteilung in einer Zweiwellen- Gasturbine, Rezirkulation eines Abgasteilstroms, und Backend Capture aus einem zweiten Abgasteilstrom gezeigt. Die Prozessführung mit Strömungsteilung, Rezirkulation eines Abgasteilstroms und Backend Capture, optimierter Wiedererhitzung zur Nachexpansion eines zweiten Abgasteilstroms entspricht der von Fig. 1. Die Gasturbine ist hier aber keine Einwellenmaschine, sondern eine Zweiwellenmaschine. Die Hochdruckturbinen 3 ist gemeinsam mit dem Verdichter 1 auf einer Welle 20 angeordnet. Sie treibt nur den Verdichter 1 an und bildet zusammen mit ihm und der Brennkammer 2 einen sogenannten Gaserzeuger oder die Kernturbine. Erfindungsgemäss wird auch hier ein erster Teil der Heissgase als Entnahmestrom 22 nach der Hochdruckturbinen 3 abgezweigt und ein zweiter Teil wird in der Niederdruckturbinen 17 unter Leistungsabgabe entspannt und nach Wärmeabgabe und Kühlung rezirkuliert. Die Niederdruckturbinen 17 ist als Leistungsturbinen auf einer separaten Welle 20<sup>l</sup> angeordnet und treibt den Generator 19 an, der direkt an sie angekoppelt ist.

**[0050]** Diese Anordnung ist besonders für Anlagen geeignet, die für sogenannte Aeroderivatives oder Mehrwellengasturbinen basieren. Die notwendigen Designänderungen an der Kernturbine können so minimiert werden. Die Hauptänderung ist eine neue Niederdruckturbinen 17 die für den um den Entnahmestrom 22 reduzierten Teilmassenstrom aus zu legen ist, die Entnahmeleitung und eventuelle Anpassungen an der mindestens einen Brennkammer 2.

**[0051]** Zum Start der Gasturbine ist in dieser Anordnung ein separater Motor 18 als Startvorrichtung vorgesehen, der wie dargestellt direkt mit der Welle 20 verbunden ist. Beispielsweise kann er aber auch über eine Überholkupplung mit der Welle 20 verbunden sein.

**[0052]** Fig. 4 zeigt ein CCPP in dem der Gaserzeuger von den Nutzturbinen getrennt angeordnet ist. Die kinetische Energie der aus dem Gaserzeuger austretenden Gase wird bei dieser Anordnung mit kleinen Verlusten in dem Diffusor 31 in Druck umgewandelt. Nach diesem Diffusor können die Heissgase geteilt werden und von entsprechenden Abzweigungen dem Backend Capture, sowie zur Nachexpansion der zu rezirkulierenden Gase einer Luftturbine 16a zugeführt werden. Die nach dem Backend Capture CO<sub>2</sub> armen Druck-Abgase 15 werden einer Luftturbine 16 zugeführt werden.

**[0053]** In dem gezeigten Beispiel sind die Luftturbine 16 zur Expansion der zu rezirkulierenden Heissgase und die Luftturbine 16a zur Expansion der, in dem HRSG/ Wärmetauscher 4 wiedererwärmten, CO<sub>2</sub>-armen Druck- Abgase 15 auf einer gemeinsamen Welle 20´ angeordnet. Sie treiben beide einen Generator 19´ zur Stromerzeugung an. Luftturbinen 16, 16a mit je einem Generator 19´ auf separaten Wellensträngen sind ebenfalls denkbar.

**[0054]** Dampf wird in dem HRSG/ Wärmetauscher 4, der die Abwärme des Entnahmestroms 22 nutzt, in dem HRSG 9, der die Abwärme des Rezirkulationsstroms 12 nutzt, und in dem HRSG 9a, der die Abwärme der CO<sub>2</sub>-armen Abgase 8 nutzt, erzeugt. Weiter ist eine Dampfkühlung des Diffusors 31 sowie der Heissgasleitungen zu dem HRSG/ Wärmetauscher 4 und zu der Luftturbine 16a denkbar (nicht gezeigt). Mit dieser Dampfkühlung kann Dampf nutzbringend weiter überhitzt werden.

**[0055]** Da die Gasturbine in dieser Anordnung nicht über den Generator 19´ gestartet werden kann, ist ein separater Motor 18 als Startvorrichtung vorgesehen.

**[0056]** Fig. 5 zeigt ein CCP mit Strömungsteilung in einer Einwellen- Gasturbine, Rezirkulation eines Abgasteilstroms, und kryogenem Backend Capture aus einem zweiten Abgasteilstrom durch Kühlung und Expansion der Abgase in einer Dralldüse.

**[0057]** Die in Fig. 5 gezeigte Anlage hat eine bezüglich Gasturbine und Behandlung der Rezirkulationsgase eine Fig. 1 entsprechende Anordnung. Ein erster Teil der Heissgase wird als Entnahmestrom 22 nach der Hochdruckturbine 3 abgezweigt und ein zweiter Teil wird in der Niederdruckturbine 17 unter Leistungsabgabe entspannt und nach Wärmeabgabe und Kühlung rezirkuliert.

**[0058]** Gegenüber der in Fig. 1 gezeigten Anordnung zeichnet sich die in Fig. 5 gezeigte Anordnung durch eine kryogene Backend Capture mit Kühlung und Expansion der Abgase in einer Dralldüse 32 aus. Dazu gibt der Entnahmestrom 22 in dem HRSG/ Wärmetauscher 4 seine nutzbare Wärme ab und wird anschliessend in kryogenen Vorkühlern 24 weiter abgekühlt. In diesen wird Kondensat abgeschieden und/ oder ist ein periodischer Enteisungsprozess vorzusehen.

**[0059]** Die kalten Abgase werden unter Druck einer Dralldüse 32 zugeführt. In dieser wird das Gas stark beschleunigt und dadurch weiter abgekühlt. Bei ausreichender Vorkühlung sinkt die Temperatur unter die Sublimationstemperatur von CO<sub>2</sub> und das CO<sub>2</sub> fällt aus. Aufgrund des starken Dralls in der Dralldüse wird das CO<sub>2</sub> durch Zentrifugalkräfte an den Aussenwänden der Düse konzentriert und von dort abgeschieden. Das abgeschiedene CO<sub>2</sub> 26 wird als Teilstrom von der Dralldüse 32 zur weiteren Behandlung abgeleitet. Das CO<sub>2</sub>-arme Abgas 8 strömt aus dem, zur Druckrückgewinnung typischerweise als Diffusor ausgebildeten Austritt der Dralldüse aus.

**[0060]** Fig. 6 zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine Strömungsteilung vor der letzten Turbinenstufe. Hochdruckturbine 3 und Niederdruckturbine 17 sind auf einer gemeinsamen Welle 20. Durch die Niederdruckturbine 17, die nur aus einem Leitschaufel- Laufschaufelpaar besteht, strömt der Rezurekulationsstrom 12. Die Hochdruckturbine 3 ist nur durch eine Laufschaufel angedeutet. Stromab der Hochdruckturbine 3 weitet sich der Leitschaufelträger 21 auf. Zwischen Leitschaufelträger 21 und dem Strömungsteiler 25 ist eine ringförmige Öffnung, durch die der Entnahmestrom 22 abgezweigt wird. In dem gezeigten Beispiel weitet sich der effektive Strömungsquerschnitt durch eine Vergrösserung des Radius in Strömungsrichtung des Entnahmestroms 22 auf, so dass ein Druckrückgewinn erreicht wird. Der Strömungsteiler 25 ist in dem Beispiel ein Teil des Leitschaufelträgers 21 der Niederdruckturbine 17.

**[0061]** Fig. 7 zeigt einen zur Fig. 6 analogen Schnitt durch eine Turbine mit Strömungsteiler 25 vor der vorletzten Turbinenstufe. Die Niederdruckturbine 17, besteht in diesem Beispiel aus zwei Leitschaufel- Lauf schaufelpaaren. Die Hochdruckturbine 3 ist nur durch eine Laufschaufel angedeutet.

**[0062]** Fig. 8 zeigt einen zur Fig. 6 analogen Schnitt durch eine Turbine mit Strömungsteilung vor der letzten Turbinenstufe. Die Temperatur der Heissgase im Bereich der Strömungsteilung kann je nach Gasturbinenbauart, Ort der Strömungsteilung und Turbineneintrittstemperatur sehr hoch sein und bis in die Grössenordnung von 1000°C reichen. In der Regel wird sie im Bereich von 600°C bis 900°C liegen. Materialien, die dieser Temperatur dauerhaft standhalten sind sehr teuer und eine Luftkühlung aufgrund den grossen zu kühlenden Flächen und der damit verbundenen Verluste meistens nicht praktikabel. Um trotzdem günstigere Materialien für die Leitschaufelträger 21 und Strömungsteiler 25 verwenden zu können, sind der Leitschaufelträger 21 und der 25 dampfgekühlt. In dem gezeigten Beispiel sind im wesentlichen konzentrische, parallel zur Oberfläche der Schaufelträger verlaufende Kühlkavitäten 34 vorgesehen. Sie werden mit Kühlungsdampf 29 versorgt der als überhitzter Dampf 30 nach durchströmen der Kühlkavität 34 abgeführt wird und dem Wasserdampfkreislauf zugeführt wird. Der Dampf wird dabei entgegen der Heissgasströmung durch die Kühlkavität 34 geführt, um eine möglichst hohe Dampftemperatur erreichen zu können.

**[0063]** Je nach Betriebspunkt der Gasturbine kann ein anderes Rezirkulationsverhältnis, dass heisst Verhältnis von Rezirkulationsstrom 12 zu Gesamtmassenstrom durch die Turbine vorteilhaft sein. Eine Möglichkeit das Rezirkulationsverhältnis zu regeln, ist in Fig. 9 gezeigt. In diesem Beispiel ist eine in der stromauf gelegenen Kante des Strömungsteilers 25 ein Verstellring 33 zur Regelung des Rezirkulationsverhältnisses angeordnet. Durch axiale Verschiebung des Verstellrings 33 ist der dem Entnahmestrom 22 zur Verfügung stehende Strömungsquerschnitt und damit der Entnahmestrom 22 regelbar. Für eine Verkleinerung des Entnahmestroms 22 wird der Verstellring 34 entgegen der Strömungsrichtung der Heissgase ausgefahren und damit das Rezirkulationsverhältnis erhöht. Für eine maximale Entnahme wird der Verstellring 33 so weit wie möglich in dem Strömungsteiler 25, zurückgefahren und damit das Rezirkulationsverhältnis verkleinert.

**[0064]** In weiteren Ausführungen wird nicht ein Verstellring 33 verschoben, sondern Ringsegmente. Weiter ist eine Regelung über winkelverstellbare Ringsegmente denkbar. Dazu wird der Winkel zwischen der Hauptströmungsrichtung des Rezirkulationsstroms 12 und dem Ringelement verstellt, wobei das Ringelement, oder genauer die dem Rezirkulationsstrom 12 zugewandte Oberfläche des Ringelements im Auslegungsfall typischerweise parallel zur Hauptströmungsrichtung orientiert ist.

**[0065]** Anstelle oder zur Ergänzung einer Regelung durch verstellbare Geometrie des Strömungsteilers kann beispielsweise eine Luftturbine 16, 16a mit einem regelbaren Eintrittsquerschnitt ausgeführt sein. Beispielsweise wird die Eintrittsleitschaufelreihe mit einer Verstellvorrichtung zur Regelung des Eintrittswinkels ausgeführt. Dies wird konstruktiv einfacher als bei herkömmlichen Gasturbinen, da die Eintrittstemperatur in die Luftturbinen 16, 16a typischerweise tief genug ist, um eine ungekühlte Turbine zu realisieren und daher keine Dichtungsprobleme an den Verbindungsstellen für die Kühlluftzuführung der variablen Leitschaufeln auftreten.

**[0066]** In Fig. 10 ist eine zu einem Generator 19' symmetrische Einwellenanordnung der Luftturbine 16, in der die CO<sub>2</sub> armen Druck-Abgase 15 entspannt werden und der Luftturbine 16a, in der der Rezirkulationsstrom entspannt wird, gezeigt. Die Beiden Luftströme werden jeweils über ein Turbineneinlassgehäuse 27, 27a in die Luftturbinen 16, 16a eingeleitet. Durch die symmetrische Anordnung auf einer Welle 20' kann der Axialschub der beiden Luftturbinen 16, 16a leichter kompensiert werden.

**[0067]** Fig. 11 zeigt eine Variante eines CCPP mit Rekuperator 43. Die in diesem Beispiel genannte Variante basiert auf Fig. 1 und zeigt als zusätzliche Vorrichtung einen Rekuperator 43 mit dem die Verdichteraustrittsluft vor Eintritt in die Brennkammer 2 vorgewärmt wird. Im Rekuperator 43 gibt der Entnahmestrom 22 einen Teil seiner nutzbaren Wärme an die Verdichteraustrittsluft ab, so dass der Brennstoffmassenstrom 37 bei konstanter Turbineneintrittstemperatur reduziert werden kann. Die Restwärme des Entnahmestroms 22 wird analog zu dem Beispiel aus Fig. 1 genutzt.

**[0068]** Abhängig von der Verdichteraustrittstemperatur und der Austrittstemperatur der Niederdruckturbine 17 kann eine rekuperative Wärmerückgewinnung eines Teils der Wärme des Rezirkulationsstroms in die Verdichteraustrittsluft vorteilhaft sein.

**[0069]** Bei einer modernen Gasturbinen mit hohem Druckverhältnis ist die Verdichteraustrittstemperatur allerdings oft so hoch, dass die Temperatur des Rezirkulationsstroms nach Austritt aus der Niederdruckturbine 17 nicht oder nicht signifikant höher ist und eine Rekuperation keine Vorteile bringt. Für diese Fälle ist eine Rekuperation, so wie sie in Fig. 11 gezeigt ist, aufgrund der höheren Temperatur des Entnahmestroms 22 vorteilhaft.

**[0070]** In einer weiteren Ausführung ist eine Reihenschaltung vorgeschlagen, bei der zunächst die Wärme aus dem Rezirkulationsstroms nach Austritt aus der Niederdruckturbine 17 in die Verdichteraustrittsluft rekuperiert wird und dann Wärme aus dem Entnahmestrom 22 in die Verdichteraustrittsluft rekuperiert wird.

**[0071]** Die in den Fig. 1 bis 5 gezeigten Dampfprozesse sind stark vereinfacht mit separaten Dampfturbinen 23 dargestellt. Der Dampf kann auch zusammengeführt sein und für eine oder mehreren Dampfturbinen mit verschiedenen Frischdampfzuständen verwendet werden. Die mindestens eine Dampfturbine 23 kann dabei über eine separate Welle 20'' einen separaten Generator 19'' antreiben. Sie kann aber beispielsweise auch als Einwellenanordnung ausgeführt sein und über die Welle 20 einen mit der Gasturbine 35 gemeinsamen Generator 19 antreiben.

**[0072]** Die mindestens eine Luftturbine 16, 16a kann ebenfalls über eine separate Welle 20'' einen separaten Generator 19'' antreiben. Sie kann aber beispielsweise auch als auf einer Welle mit der Gasturbine 35 und/ oder auf einer Welle mit mindestens einer Dampfturbine 23 angeordnet sein.

**[0073]** Typische Temperaturen des CO<sub>2</sub>- armen Abgasstroms 8 sind im Bereich der Umgebungstemperatur bis etwa 120°C. Die Untergrenze ist vor allem von der Abgaszusammensetzung, die noch durch eventuelle Filter und Katalysatoren verbessert sein kann, dem Material der Abgasleitungen und des Schornsteins sowie lokalen Bestimmungen abhängig.

**[0074]** Die Temperatur des rückgekühlten Rezirkulationsstroms 36 ist typischerweise im Bereich von 0°C bis 50°C. Bei Luft- Luft Kühlern ist sie in der Regel 10°C bis 20°C über der Temperatur der Umgebungsluft. Zur Optimierung des Wirkungsgrades für den Betrieb bei von den Auslegungsbedingung abweichenden Randbedingungen kann eine Regelung der Temperatur des rückgekühlten Rezirkulationsstroms 36 vorteilhaft sein. Beispielsweise kann durch eine lastabhängige Temperaturregelung der Wirkungsgrad optimiert werden. Insbesondere bei Teillast kann durch eine Erhöhung der Verdichtereintrittstemperatur der Gesamtwirkungsgrad des Kombi- Kraftwerkes verbessert werden.

**[0075]** Die Temperatur des Entnahmestroms 22 ist für den Auslegungsfall bei Eintritt in den HRSG/ Wärmetauscher 4 typischerweise im Bereich von 550°C bis 750°C. Beispielsweise ist sie im Bereich von 600°C bis 700°C.

### Bezugszeichenliste

**[0076]**

- 1 Verdichter
- 2 Brennkammer

## CH 700 310 A1

- 3 Hochdruckturbine
- 4 HRSG/ Wärmetauscher
- 5 Frischdampf oder Heissdampf zur Dampfturbine / Cogeneration
- 6 CO2 Absorber
- 7 CO2 Absorptionsflüssigkeit
- 8 CO2-armes Abgas
- 9 HRSG (Abwärmekessel)
- 10 Frischdampf zur Dampfturbine/Cogeneration
- 11 Kühler mit Kondensatabscheider
- 12 Rezirkulationsstrom
- 13 Ansaugluft
- 14 CO2 gesättigtes Absorptionsmittel Regenerierung
- 15 CO2 arme Druck-Abgase zur Entspannung
- 16 Luftturbine
- 17 Niederdruckturbine
- 18 Motor
- 19 Generator (19', 19'')
- 20 Welle (20', 20'')
- 21 Leitschaufelträger
- 22 Entnahmestrom
- 23 Dampfturbine
- 24 Kryogener Vorkühler
- 25 Strömungsteiler
- 26 Abgeschiedenes CO2
- 27 Turbineneinlassgehäuse
- 28 Dampfgekühlter Diffusor/ Leitungen
- 29 Kühlungsdampf
- 30 Überhitzter Dampf
- 31 Diffusor
- 32 Dralldüse
- 33 Verstellring
- 34 Kühlkavität
- 35 Gasturbine
- 36 Rückgekühlter Rezirkulationsstrom
- 37 Brennstoff
- 38 Kühler

- 39 Desorptionskolonne
- 40 CO<sub>2</sub>
- 41 Dampf zur Desorption
- 42 Wärmetauscher
- 43 Rekuperator
- 44 CO<sub>2</sub>

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur CO<sub>2</sub> Abscheidung aus einem Kombi-Kraftwerk, dadurch gekennzeichnet, dass der Gasstrom, der in einer Gasturbine (35) entspannt wird nach einer Hochdruckturbine (3) aufgeteilt wird, ein erster Teilmassenstrom weiter entspannt wird, seine Abwärme nutzbar abgeleitet wird und dieser erste Teilmassenstrom in den Ansaugstrom der Gasturbine (35) rezirkuliert wird sowie dass ein zweiter Teilmassenstrom als Entnahmestrom (22) abgezweigt wird, gekühlt wird, CO<sub>2</sub> von ihm abgeschieden wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Entnahmestrom (22) in einem HRSG/Wärmetauscher (4) gekühlt wird, das CO<sub>2</sub> in einem CO<sub>2</sub> Absorber (6) abgeschieden wird und der Entnahmestrom (22) anschliessend in einer Luftturbine (16) entspannt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Entnahmestrom (22) vor der Expansion in der Luftturbine(16) in dem HRSG/ Wärmetauscher (4) wieder erwärmt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Entnahmestrom (22) in einem kryogenen Vorkühler (24) weiter abgekühlt wird, in einer Dralldüse beschleunigt wird und CO<sub>2</sub> kryogen in der Dralldüse abgeschieden wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Teilmassenstrom in einer Niederdruckturbine (17) entspannt wird, wobei die Niederdruckturbine (17) Teil einer Einwellengasturbine ist oder als Leistungsturbine Teil einer Mehrwellengasturbine ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Teilmassenstrom in einer separaten Luftturbine (16a) entspannt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Leitschaufelträger (21) und/ oder der Strömungsteiler (25) im Bereich der Strömungsteilung und/ oder entlang des Entnahmestroms (22) und/ oder die Leitung zum HRSG/ Wärmetauscher (4) und/ oder zum HRSG (9) zumindest teilweise dampfgekühlt ist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Anteil des Entnahmestroms (22) am Gesamtmassenstrom der Gasturbine durch eine variable Geometrie regelbar ist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Entnahmestrom (22) durch eine variable Leitschaufel der Luftturbine (16 oder 16a) regelbar ist.
10. Ein Kombi-Kraftwerk mit CO<sub>2</sub> Abscheidung bestehend aus mindestens einer Gasturbine (35), die mindestens aus einen Verdichter (1), mindestens einer Brennkammer (2) und mindestens einer Turbine besteht, dadurch gekennzeichnet, dass die Turbine, die stromab einer letzten Brennkammer (2) der Gasturbine (35) angeordnet ist, nach einer Hochdruckturbine (3) eine Strömungsteilung zur Aufteilung der durch die Turbine strömenden Gase in einen Entnahmestrom (22) und einen Rezirkulationsstrom (12) in den Ansaugstrom des Verdichters aufweist.
11. Ein Kombi-Kraftwerk nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass stromab der Hochdruckturbine (3) eine Niederdruckturbine (17) angeordnet ist, wobei zwischen Hochdruckturbine (3) und der Niederdruckturbine (17) ein Strömungsteiler (25) zur Abzweigung eines Entnahmestroms (22) angeordnet ist.
12. Ein Kombi-Kraftwerk nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass stromab der Hochdruckturbine (3) ein Diffusor (31) angeordnet ist, an den Diffusor mindestens zwei Austrittsleitungen anschliessen, wobei mindestens eine Austrittsleitung für den Entnahmestrom (22) und mindestens eine Austrittsleitung für den Rezirkulationsstrom (12) vorgesehen ist, wobei mindestens eine Austrittsleitung den Rezirkulationsstrom (12) zu einer Luftturbine (16a) führt.
13. Ein Kombi-Kraftwerk nach Anspruch 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass nach der Niederdruckturbine (17) oder Luftturbine (16a) ein HRSG (9) und ein Kühler (11) in einer Rezirkulationsleitung durch die der Rezirkulationsstrom (12) in den Verdichter (1) rezirkuliert wird, vorgesehen ist, sowie dass ein HRSG/ Wärmetauscher (4) und ein CO<sub>2</sub> Abscheider in der Leitung für den Entnahmestrom (22) vorgesehen ist.
14. Ein Kombi-Kraftwerk nach Anspruch 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass stromab des CO<sub>2</sub> Abscheiders eine Luftturbine (16) angeordnet ist.

## CH 700 310 A1

15. Ein Kombi-Kraftwerk nach Anspruch 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Abzweigung (25) und dem CO<sub>2</sub> Abscheider sowie zwischen CO<sub>2</sub> Abscheider und Luftturbine (16a) ein HRSG/ Wärmetauscher (4) zur Kühlung des Entnahmestroms (22) vor dem CO<sub>2</sub> Abscheider und Wiedererhitzung der CO<sub>2</sub> armen Druckabgase (15) vorgesehen ist.
16. Ein Kombi-Kraftwerk nach Anspruch 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem HRSG/ Wärmetauscher (4) zur Nutzung der Abwärme des Entnahmestroms (22) ein kryogener Vorkühler (24) und eine Dralldüse (32) zur CO<sub>2</sub> Abscheidung angeordnet ist.
17. Ein Kombi-Kraftwerk nach Anspruch 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Strömungsteiler (25) oder der Diffusor (31) und/ oder die Entnahmestellen und oder Leitungen für den Entnahmestrom (22) und/ oder für den Rezirkulationsstrom (12) zumindest teilweise eine Dampfkühlung aufweisen.
18. Ein Kombi-Kraftwerk nach Anspruch 10 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Strömungsteiler eine verstellbare Geometrie zur Regelung des Rezirkulationsverhältnisses aufweist.
19. Ein Kombi-Kraftwerk nach Anspruch 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Luftturbine (16, 16a) mindestens eine verstellbare Leitschaufelreihe aufweist.
20. Ein Kombi-Kraftwerk nach Anspruch 10 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Luftturbine (16a) zur Expansion des Rezirkulationsstroms (12) und die Luftturbine (16) zur Expansion der CO<sub>2</sub> armen Druckabgase (15) auf einer Welle angeordnet sind.
21. Ein Kombi-Kraftwerk nach Anspruch 10 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Verdichteraustrittsluft vor Eintritt in die Brennkammer (2) durch einen Rekuperator (43) zur Vorwärmung durch Wärme aus dem Entnahmestrom (22) und/ oder aus dem Rezirkulationsstrom (12) geleitet wird.



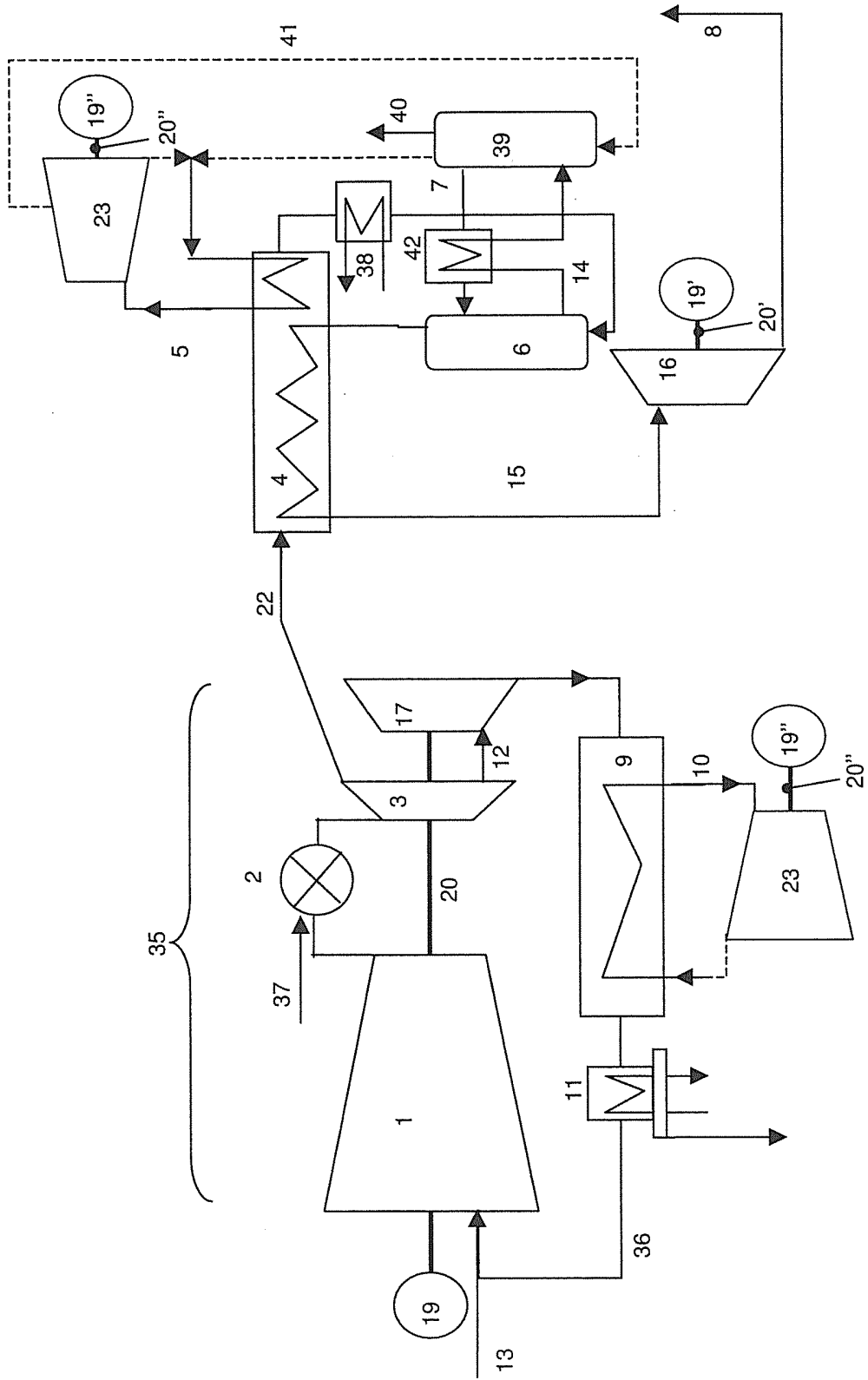


Fig. 2





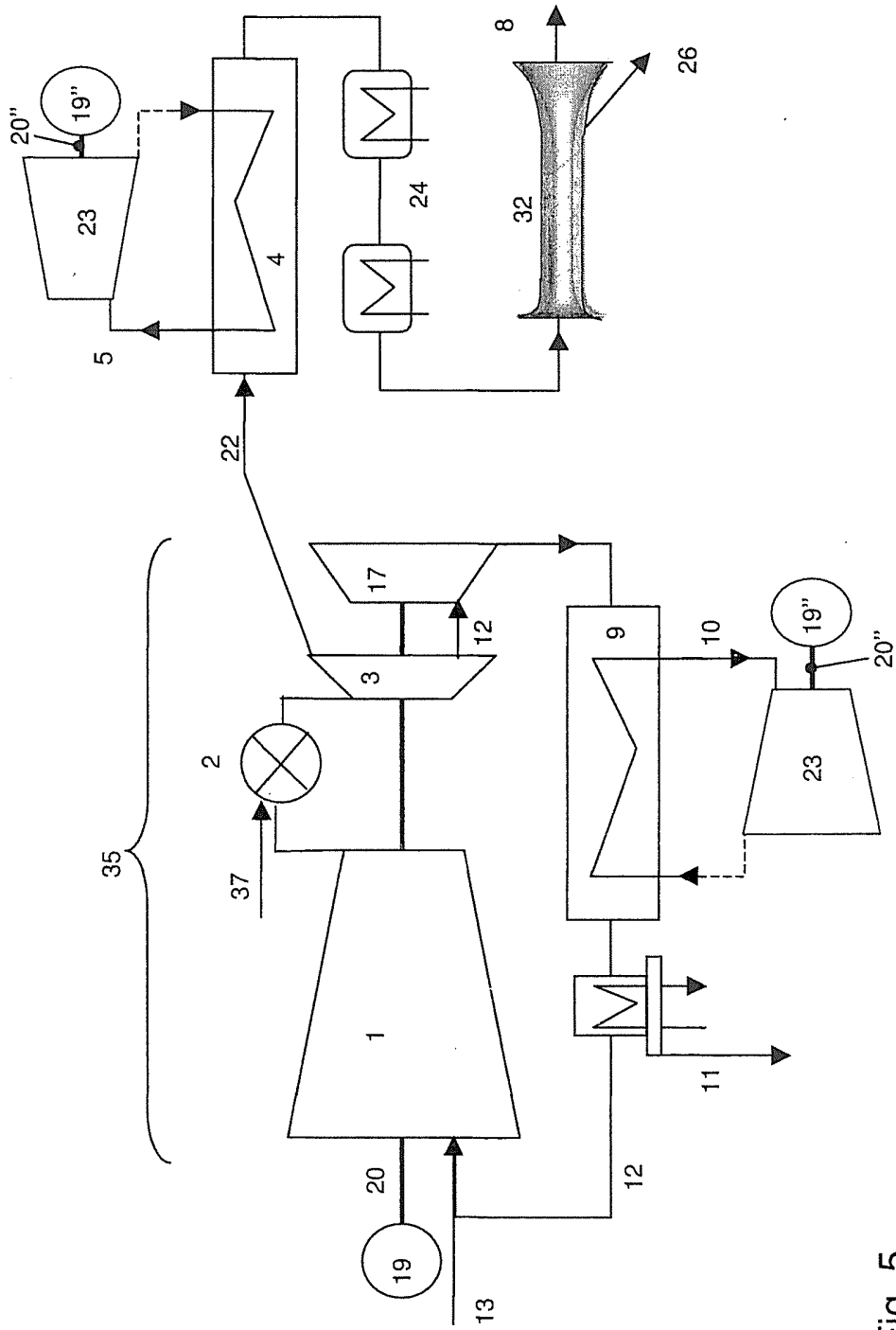


Fig. 5

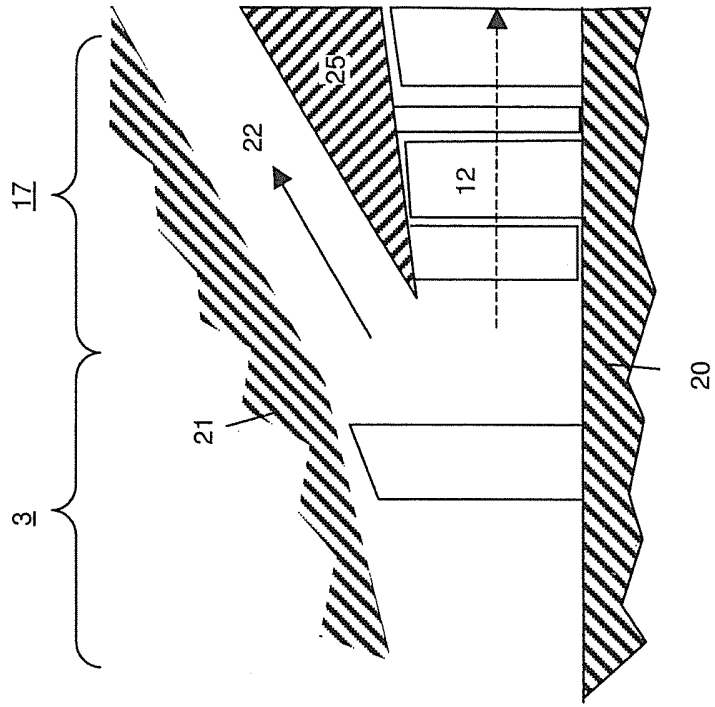


Fig. 6

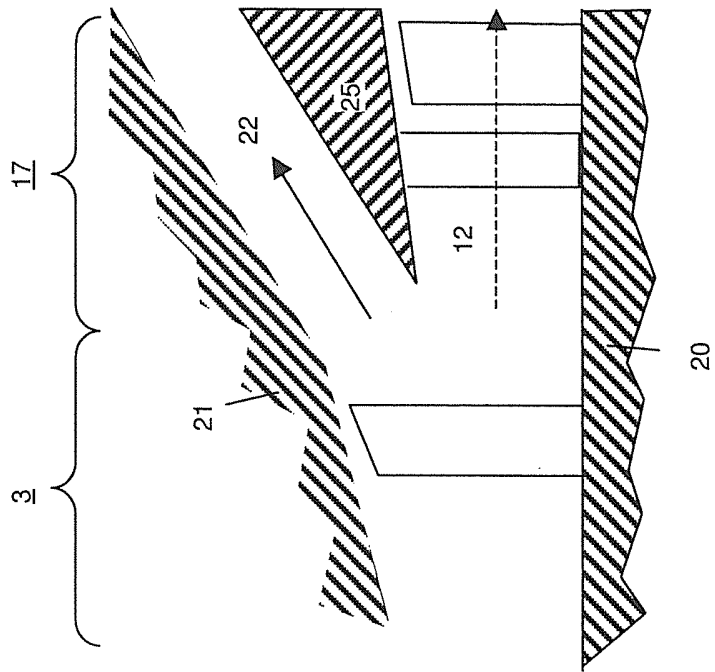


Fig. 7

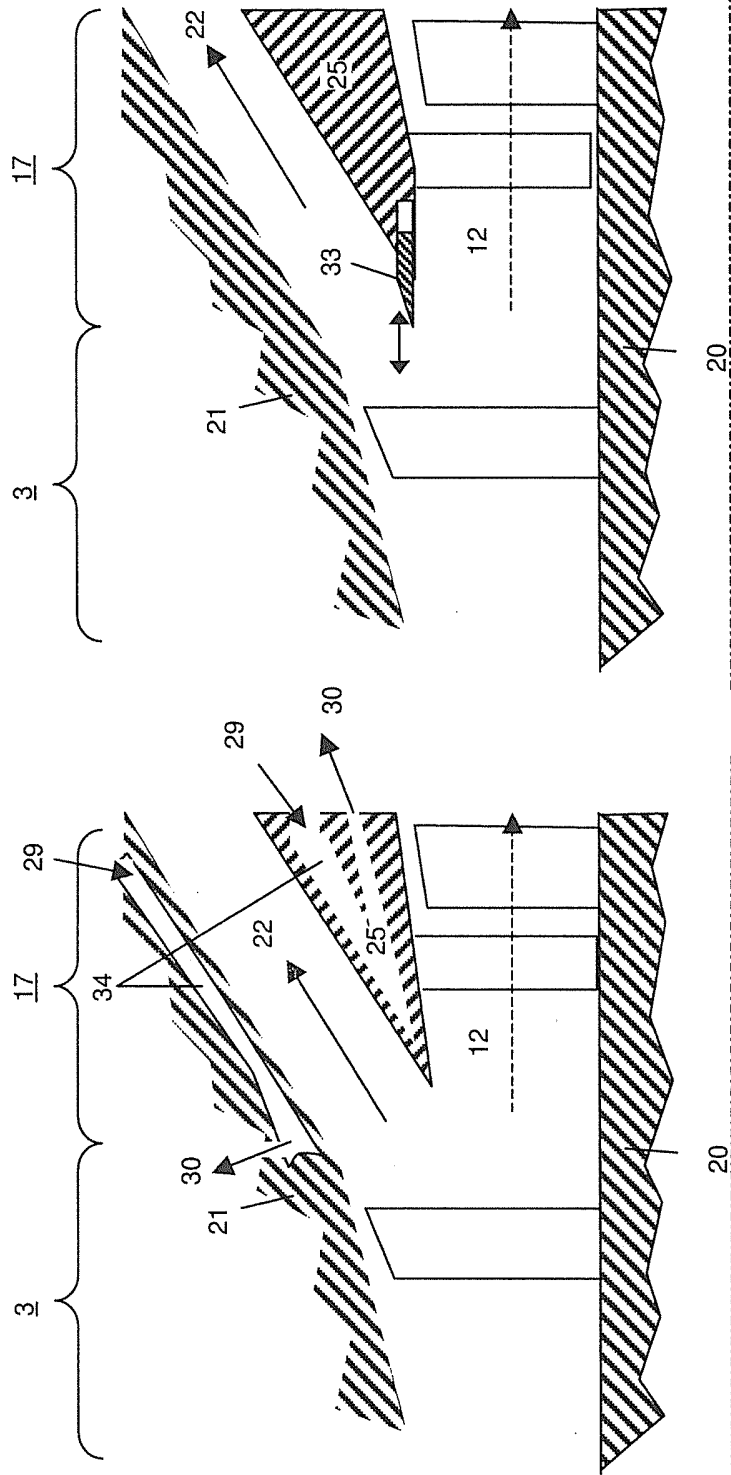


Fig. 9

Fig. 8

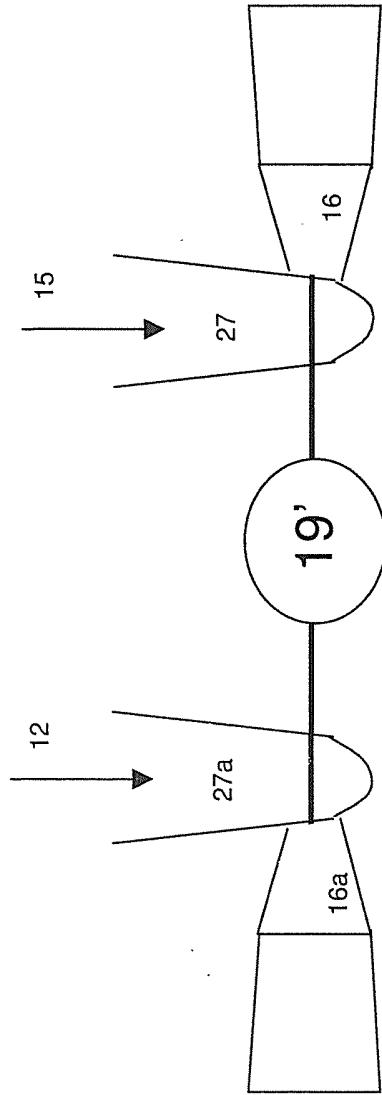


Fig. 10



**VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT  
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS**

**BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART**

KENNZEICHNUNG DER NATIONALEN ANMELDUNG		AKTENZEICHEN DES ANMELDERS ODER ANWALTS	
		<b>B07/129-0 CH</b>	
Nationales Aktenzeichen		Anmeldedatum	
<b>0105/2009</b>		<b>23-01-2009</b>	
Anmeldeland		Beanspruchtes Prioritätsdatum	
<b>CH</b>			
Anmelder (Name)			
<b>Alstom Technology Ltd.</b>			
Datum des Antrags auf eine Recherche Internationaler Art		Nummer, die die internationale Recherchenbehörde dem Antrag auf eine Recherche internationaler Art zugeteilt hat	
<b>03-02-2009</b>		<b>SN 51707</b>	
<b>I. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS</b> <small>(treffen mehrere Klassifikationssymbole zu, so sind alle anzugeben)</small>			
<small>Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder sowohl nach der nationalen Klassifikation als auch nach der IPC</small>			
<b>B01D53/14 B01D53/24 F01D5/08 F01D9/02 F01D17/14</b>			
<b>II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE</b>			
<small>Recherchierter Mindestprüfstoff</small>			
Klassifikationssystem		Klassifikationssymbole	
<b>IPC. 8</b>	<b>B01D</b>	<b>F01D</b>	<b>F01K F02C</b>
<small>Recherchierte, nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen</small>			
<b>III. <input type="checkbox"/> EINIGE ANSPRÜCHE HABEN SICH ALS NICHT RECHERCHIERBAR ERWIESEN</b> <small>(Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)</small>			
<b>IV. <input type="checkbox"/> MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG</b> <small>(Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)</small>			

Formblatt PCT/ISA 201 a (11/2000)

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Nr. des Antrags auf Recherche  
CH 1052009

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSBEZUGSSTANDES					
INV.	801D53/14	B01D53/24	F01D9/08	F01D9/02	F01D17/14
	F01D17/16	F01K23/10	F02C3/10		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK					
B. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE					
Rechenhinter Mikroprozessor (Klassifikationssystem und Klassifikationszeichen)					
B01D F01D F01K F02C					
Recherchierte, aber nicht zum Mikroprozessor gehörende Verästelungen, soweit diese unter die rechnerischen Gebiete fallen					
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)					
EPO-Internal					
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN					
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Zeile				Str. Anspruch Nr.
X	US 2003/131582 A1 (ANDERSON ROGER E [US] ET AL) 17. Juli 2003 (2003-07-17)				10
A	Abbildung 7				1
X	WO 2004/072443 A (STATOIL ASA [NO]; LYNHJEM ARNE [NO]; JAKOBSEN JON [NO]; KOBRO HENRIK) 26. August 2004 (2004-08-26)				10
A	Abbildung 1				1
X	US 2007/248527 A1 (SPENCER DWAIN F [US]) 25. Oktober 2007 (2007-10-25)				10
A	Abbildung 1				1
X	WO 00/48709 A (NORSK HYDRO AS [NO]; AASEN KNUT INGVAR [NO]; EIMER DAG ARNE [NO]) 24. August 2000 (2000-08-24)				10
A	Abbildungen 1,2				1
-/-					
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen			<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen					
*A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist					
*E* Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist					
*I* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelsfrei anzusehen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbereich gesuchten Veröffentlichung belegt werden soll, oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)					
*C* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht					
*P* Veröffentlichung, die vor dem Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist					
*T* Bestimmte Veröffentlichung, die nach dem Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist					
*X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindereischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden					
*Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindereischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist					
*S* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist					
Datum des tatsächlichen Abschlusses der Recherche internationaler Art			Abschließender Bericht über die Recherche internationaler Art		
11. Mai 2009			27.05.2009		
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde			Bevollmächtigter Beauftragter		
Europäisches Patentamt, P.O. Box 5018 Patentstraße 2 NL - 2280 SV Rijswijk Tel: (431-70) 346-2040 Fax: (431-70) 346-3016			Coquau, Stéphane		

Formular PCT/H6/201 (Blatt 2) (Januar 2004)

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 1052009

G (Fortsetzung). ALS WESENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2008/011160 A1 (BOWMAN MICHAEL JOHN [US] ET AL) 17. Januar 2008 (2008-01-17) Abbildung 4	1,10
A	EP 1 918 014 A (GEN ELECTRIC [US]) 7. Mai 2008 (2008-05-07) Abbildung 2	1,10

1

Formblatt PAT/TRA/201 (Fortsetzung von Blatt 2) (Stand 2004)

**BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 1052009

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2003131582	A1 17-07-2003	US 2005126156 A1	16-06-2005
WO 2004072443	A 26-08-2004	EP 1592867 A1 US 2006112696 A1	09-11-2005 01-06-2006
US 2007248527	A1 25-10-2007	KEINE	
WO 0048709	A 24-08-2000	AT 248018 T AU 2332500 A CA 2362773 A1 DE 60004795 D1 DE 60004795 T2 DK 1159056 T3 EP 1159056 A1 ES 2206185 T3 NO 990812 A US 6655150 B1	15-09-2003 04-09-2000 24-08-2000 02-10-2003 08-07-2004 22-12-2003 05-12-2001 16-05-2004 21-08-2000 02-12-2003
US 2008011160	A1 17-01-2008	CN 101143288 A	19-03-2008
EP 1918014	A 07-05-2008	CA 2604630 A1 JP 2008095686 A US 2008083226 A1	09-04-2008 24-04-2008 10-04-2008

Formblatt PCT/ISA/201 (Anhang Patentfamilie) (Januar 2004)